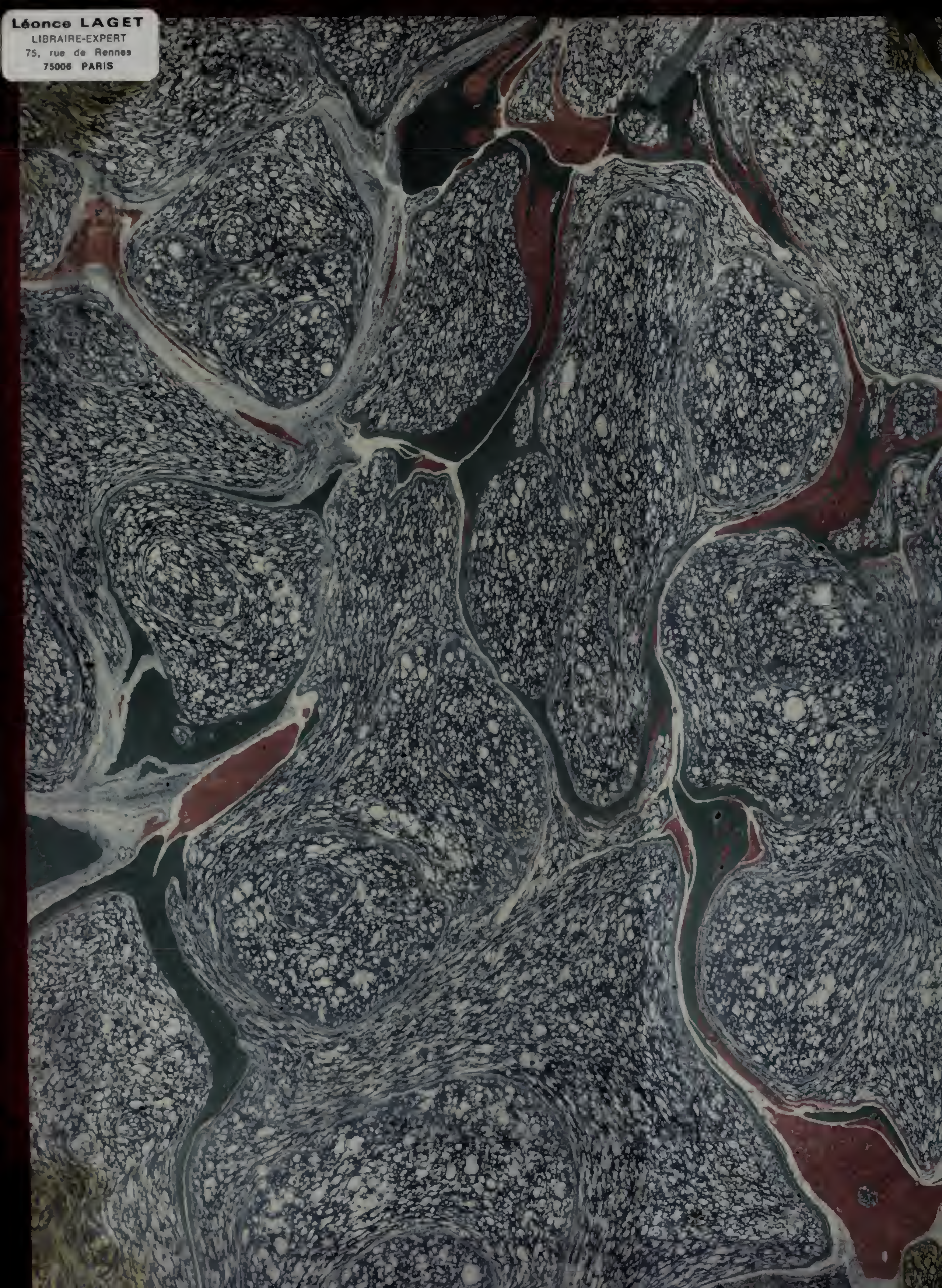
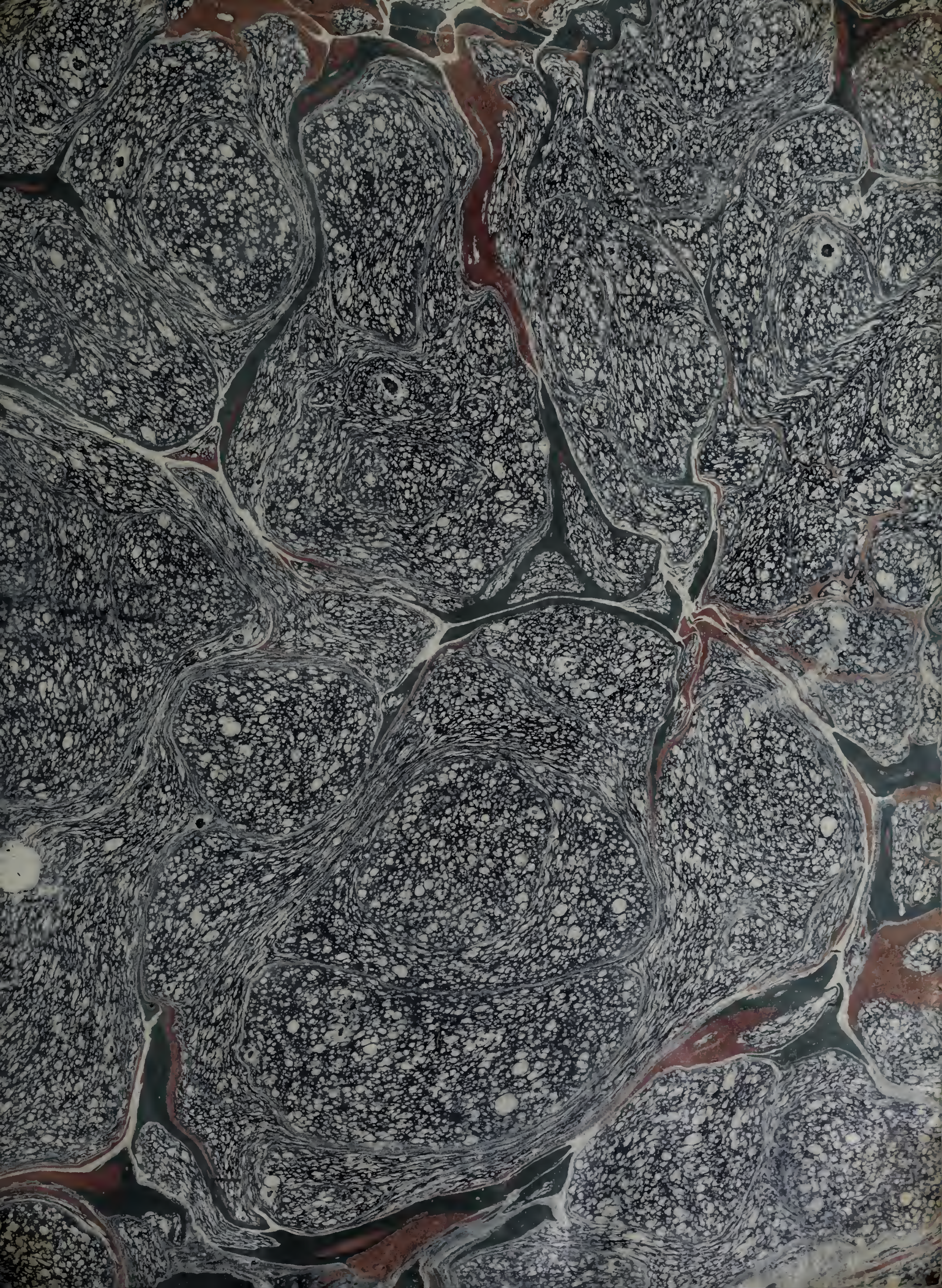




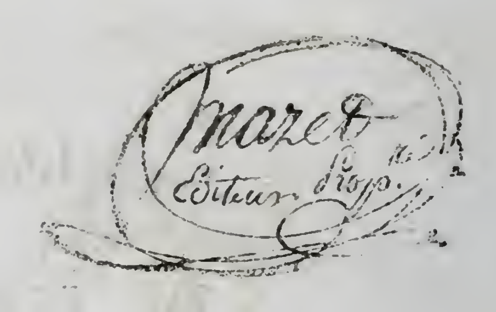


LA SCIENCE

DE L'INGÉNIEUR.

TOME PREMIER.

Tous les Exemplaires non revêtus de la signature de l'Editeur-Propriétaire, sont réputés contrefaits.



ON S'ADRESSE :

A Paris, chez MM. Cornuault, Poret et Ce, *rue du Four-St-Honoré, n° 9*;

A Lyon, chez M. Guillermet, *rue Mulet, n° 14*; chez M. Favério, Libraire, *rue Lafont, n° 6*;

Et chez les principaux Libraires des autres villes de France et de l'Etranger.

LA SCIENCE DE L'INGÉNIEUR,

DIVISÉE EN TROIS PARTIES

OU L'ON TRAITE DES CHEMINS, DES PONTS, DES CANAUX ET DES AQUEDUCS;

DÉDIÉE AU ROI,

PAR J.-R. DELAISTRE, INGÉNIEUR PENSIONNÉ, ET ANCIEN PROFESSEUR A L'ÉCOLE MILITAIRE DE PARIS,

Revue et augmentée par un Ingénieur du Corps royal des Ponts et Chaussées.

L'art de la construction des Ponts, des Chemins, des Canaux et de plusieurs autres travaux publics, a acquis de la perfection par les grands ouvrages faits depuis un demi-siècle : il était utile de faire connaître les moyens que l'on a employés pour le succès de ces travaux, qui ont mérité l'approbation de la nation et des étrangers.

(PERRONET. — Descript. du Pont de Neuilli.)

TOME PREMIER.

A LYON,

DE L'IMPRIMERIE DE BRUNET, PLACE ST-JEAN, N° 3.

1825.

AU ROI.

SIRE,

Les grands Rois ont toujours protégé les Arts et les Sciences, et particulièrement celles qui tendent à augmenter la richesse nationale, en favorisant le commerce et l'industrie par la création de moyens surs et faciles de communiquer dans tous les sens entre les villes principales d'un meme Royaume.

VOTRE MAJESTÉ, *à l'exemple de ses augustes aïeux, donne un nouvel éclat à son Administration des Ponts et Chaussées, puisque tous les jours elle ordonne de grandes constructions qui doivent perpétuer le souvenir de son règne, en même tems qu'elles contribueront puissamment au bonheur de ses peuples.*

Sur toutes les régions de la France on ouvre aujourd'hui, comme par enchantement, de vastes canaux; on eleve de superbes ponts, on embellit de grandes cités par des murs de quais, des rampes et des ports servant à la navigation intérieure; on repare et on ameliore des ports maritimes; on

assainit et on rend à l'agriculture beaucoup de territoires marécageux ; et jamais les grandes routes n'ont été plus viables.

Cet accroissement rapide de toutes les branches d'industrie et de commerce, aujourd'hui si remarquable en France, ce désir général du bien-être qui se fait sentir actuellement dans toutes les classes de la société, présagent la nécessité de se livrer encore à de grands travaux publics.

C'est dans cette heureuse circonstance que je présente à VOTRE MAJESTÉ l'ensemble des principes et des documens qui forment la Science de l'Ingénieur. Je la supplie de vouloir bien agréer cet essai, comme le fruit de plusieurs années d'expérience. En daignant l'accueillir favorablement, elle donnera une nouvelle preuve de cette haute protection qu'elle accorde aux Sciences, et me pénétrera de la plus vive reconnaissance.

Je suis avec un profond respect,

SIRE,

De VOTRE MAJESTÉ

Le très-humble, très obéissant et très-fidèle serviteur et sujet,
DELAISTRE.

PRÉFACE.

Il est inutile de s'étendre sur l'importance des travaux publics : ils ont toujours été l'objet de la sollicitude des grands monarques, et l'histoire nous apprend que les peuples antiques ont eu un goût très-déterminé pour ces grands ouvrages qui attestent encore aujourd'hui leur ancienne puissance.

Tout le monde connaît quel rang occupait chez les Romains l'administration des voies publiques. Ils avaient fait construire une prodigieuse quantité de grands chemins qui traversaient, dans tous les sens, l'étendue des pays soumis à leur domination. L'Egypte présente aussi de beaux monumens en ce genre : on y remarquait de hautes levées destinées à braver les inondations du Nil, et à établir une communication assurée entre le grand nombre de villes qui semblaient sortir du sein des eaux. L'antique empire des Chinois, d'après le récit des voyageurs, offre aussi de très-beaux travaux pour les voies de transport, soit grandes routes, canaux ou ports de mer.

Sous le règne de Louis XIV, l'application des sciences aux objets d'utilité publique fut marquée par des monumens qui exciteront toujours l'admiration des peuples. Sous Louis XV et Louis XVI, la science et l'art de

l'ingénieur sont parvenus à un très-haut degré de perfection : plus de six mille lieues de routes percées ou achevées sous ces deux Princes; beaucoup de canaux faits ou entrepris; des ports de mer créés ou rendus à la navigation; des ponts remarquables par leur beauté, leur solidité et leur hardiesse, sont des monumens qui attestent la splendeur de leurs règnes

En 1747, on établit à Paris une école des ponts et chaussées, qui devait embrasser le système de toutes les connaissances utiles à l'ingénieur destiné à faire exécuter les grands travaux dont nous venons de parler. Il sortit de cette école, qui fut créée par M. de Trudaine, et dirigée par le célèbre Perronet, un grand nombre d'ingénieurs de mérite, qui se sont fait remarquer par d'utiles travaux. Enfin, depuis la création de l'école polytechnique, tous les jeunes ingénieurs sortent de son sein, et apprennent à l'école des ponts et chaussées, comment on doit appliquer les sciences physiques et mathématiques à l'art des constructions en général.

Le concours des ingénieurs sortis soit de l'ancienne, soit de la nouvelle école, a fait exécuter, dans ces derniers temps, une immensité de grands travaux : de longs canaux ont été entrepris et en partie exécutés; des rivières dont la navigation était nulle, sont ouvertes au commerce par les ouvrages qui les ont rendues navigables. Un grand nombre de ports de commerce, abandonnés

aux caprices et aux fureurs de la mer, ont été réparés. On a assaini de vastes terrains, et on les a rendus à l'agriculture au moyen des desséchemens. De quelque côté qu'on arrive aujourd'hui en France, on est frappé par la beauté des monumens qu'on y rencontre. Du côté d'Italie, la route du Simplon, dont le col est élevé de deux mille cinq mètres au-dessus du niveau de la mer, et celle du Mont-Cenis, présentent aujourd'hui des moyens aussi sûrs que faciles de traverser ces chaînes des Alpes d'un aspect effrayant, et qui autrefois n'étaient gravies que par des sentiers étroits et dangereux, dirigés suivant des pentes d'une rapidité extrême. Du côté de l'Allemagne et de la Suisse, le canal Monsieur, qui joint le Rhône au Rhin; du côté d'Angleterre, le canal de St-Quentin; et enfin, du côté des Pyrénées, le canal du Midi, attestent le goût de notre patrie pour les grands travaux, et la capacité de ses ingénieurs pour les construire.

On évalue à cinquante-deux le nombre des ponts d'une certaine importance, construits en France pendant le 18.e siècle; et depuis le commencement du siècle actuel, les ingénieurs français en ont construit environ cent, soit en France proprement dite, soit dans les pays qui lui étaient réunis avant la restauration : ce qui fait voir combien est grand le progrès des arts, de l'industrie et de la civilisation.

Parmi ces monumens de récente construction, on remarque les ponts en pierre de Bordeaux, de Rouen; celui en face du Champ-de-Mars à Paris; ceux de Roanne, de l'Archevêché à Lyon; de Sèvres, de Nemours, de Sauveterre, du Pô, de la Doire, de Givet, de St-Diez; de Chenée, de la Sarthe sur la route de Caen à Tours, de Joinville, de Montélimart sur leRoubion, et de la pointe de l'Aveyron.

Les ponts en bois de Bonpas, d'Agen, de Kehl, de Tortone sur la Scrivia; d'Entelle dans les Appenins; de la Bormida, de Carignan, de la Stura, de Verceil sur la Sesia; de la Bidassoa, de la Roche sur l'Isère; de Valvins, de la Charité sur Loire; du village de Pont sur la Meuse; de la Peschadoire sur la Dore, près de Thiers; de Bezons, de Choisy, de Maisons, d'Avignon; de Serin et de l'Arsenal à Lyon: ces deux derniers ayant les piles en pierres et les arches en bois.

Les ponts en fer des Arts et du Jardin du Roi, à Paris.

Le gouvernement paternel sous lequel nous vivons aujourd'hui, continue de donner un grand essor à l'art de construire les travaux publics. Les ingénieurs peuvent à peine suffire à l'exécution des nombreux projets pour lesquels le gouvernement ou des compagnies particulières dûment autorisées appliquent annuellement des fonds très-considérables. On remarque surtout la nouvelle

impulsion donnée à la science des canaux. Dans ce moment, on s'occupe d'exécuter un des plus vastes projets qui aient été conçus en ce genre : je veux parler du canal latéral du Rhône, qui règnera depuis Lyon jusqu'à Arles, sur environ soixante-dix lieues de longueur, et qui est estimé trente-huit millions. Voilà un de ces monumens les plus dignes de l'application d'un grand Prince, et des plus capables de perpétuer sa mémoire dans les siècles à venir, et de marquer la grandeur, l'abondance et la félicité de son règne.

On n'a pas prétendu traiter dans cet ouvrage de l'ensemble des connaissances utiles à l'ingénieur des ponts et chaussées : un seul homme ne pourrait suffire à la production d'un pareil travail, qui devrait contenir des traités sur presque toutes les sciences et sur un grand nombre d'arts et métiers.

On s'est borné à présenter une série de principes indispensables à tout constructeur, et l'indication des connaissances pratiques qui, jointes aux résultats précieux fournis par la théorie, forment un ensemble de documens et d'instructions capables d'éclairer et de guider celui qui se livre à l'art des constructions.

L'ingénieur qui commence y trouvera des leçons utiles, et celui qui est déjà expérimenté y puisera des renseignemens qu'il serait obligé de chercher péniblement dans un grand nombre de volumes.

On conçoit qu'un pareil ouvrage ne peut guère être considéré que comme une compilation et un simple essai qui, sans doute, sera perfectionné plus tard par des mains plus habiles. Dans son état actuel, il renferme à peu près tout ce qui est contenu dans l'*Encyclopédie de l'Ingénieur*, dictionnaire qui ne se trouve presque plus dans le commerce, parce qu'on n'en a tiré qu'un petit nombre d'exemplaires; mais les matières y sont classées avec un autre ordre plus favorable à l'instruction, et elles y sont mieux traitées. On a corrigé les nombreuses imperfections qui s'étaient glissées dans un ouvrage fait trop précipitamment, et on a fait des augmentations utiles dans toutes les parties que le temps et les progrès des arts ont enrichies de nouvelles découvertes.

On a lieu de penser que cet ouvrage sera utile à tous ceux qui s'occupent de travaux publics et même de constructions particulières. On jugera mieux de son utilité par le résumé suivant des objets qui y sont contenus, et qu'on indique avec le même ordre que celui suivi pour leur explication ; de sorte que cet exposé rapide dispensera d'entrer dans aucun détail sur la division des matières. Néanmoins, pour faciliter les recherches, on a cru devoir placer à la fin de l'ouvrage une table succincte des objets principaux qui y sont traités.

PREMIÈRE PARTIE.

DES CHEMINS.

CHAPITRE PREMIER.

Notions préliminaires sur la Géométrie, la Trigonométrie, l'Arpentage, le Nivellement et le Dessin.

NOTIONS ÉLÉMENTAIRES DE GÉOMÉTRIE. — De la perpendiculaire. — Parallèles. — Parallélogrammes. — Cercle. — Polygone. — Pentagone. — Ovale. — Ellipse. — Cycloïde. — Plan. — Parallélipipède. — Cylindre. — Cône. — Sphère.

TRIGONOMÉTRIE. — Principe fondamental. — Formules trigonométriques les plus usitées.

ARPENTAGE. — Mesure des superficies. — Mesure des hauteurs inaccessibles. — Usages de la planchette. — Table des longueurs inclinées, rapportées à l'horizon. — Du compas des champs.

DU NIVELLEMENT. — Des différens niveaux. — Du niveau d'eau et de ses usages. — Table des haussemens du niveau apparent sur le niveau vrai. — Du nivellement simple. —

Du nivellement composé. — Application au tracé des canaux d'arrosage ou de navigation.

DE LA PERSPECTIVE. — Perspective d'une ligne. — D'un triangle. — D'un carré. — D'un plancher fait en losanges. — D'un cercle. — D'un pentagone.

DU DESSIN. — Détails sur la manière de dessiner la carte et le paysage, et d'appliquer les couleurs. — Moyen d'exprimer les pentes. — Les montagnes. — Les arbres. — Les haies. — Jardins. — Vignes. — Les rochers. — Les groupes d'arbres. — Des ombres et des diverses teintes. — Du sillonnement. — Des parties de bosquets. — Du pentographe.

CHAPITRE DEUXIÈME.

Des Chemins ou Routes proprement dites.

Détails historiques sur l'administration des chemins sous les beaux jours de la Grèce, sous l'empire romain, sous les anciens Rois de France. — Création des trésoriers généraux. — Administration actuelle des routes en France. — Voie appienne et autres chemins exécutés par les Romains, suivant le récit de Bergier dans son histoire des grands chemins. — Chemin de Cusco, au Pérou.

— Grands chemins en Chine. — Routes du Mont-Cenis. — De Tarare. — Classification des routes de France. — Détails sur la construction des routes en plaine. — Chaussée pavée. — En empierrement. — Comment on remédie à la mauvaise qualité du sol. — Routes en pays de montagnes ou à mi-côte. — Murs de souténement. — Barbacanes. — Chaussée creuse. — Echarpes. — Cassis. — Avantages et inconvéniens des routes bombées, d'après M. Cunnings. — Quelques vues d'amélioration sur la manière de réparer et d'entretenir les routes. — Quelques détails sur les chemins de Fer. — De l'odomètre pour mesurer la longueur des chemins.

CHAPITRE TROISIÈME.

Des moyens de transport des Matériaux destinés à la Construction et à l'entretien des Routes.

Sur la force de l'homme pour porter et traîner les fardeaux. — De la force des chevaux. — Des voitures de transport. — Des résistances qu'éprouvent les roues des charrettes par l'inégalité du chemin. — Du traîneau. — Du camion. — De la forme la plus convenable à donner

aux jantes des roues. — Extrait d'une instruction sur la police du roulage. — Charriot imaginé pour aplanir les chemins. — Des changemens applicables au mécanisme des voitures, suivant M. de Fossombroni. — Table des prix du transport d'un mètre cube de matériaux à diverses distances.

DEUXIÈME PARTIE.

DES PONTS.

CHAPITRE PREMIER.

Notions élémentaires de quelques Principes de Physique et de Mécanique.

Principes de physique. — De la masse. — Du temps. — De la vitesse. — De l'adhérence. — De l'air. — De l'athmosphère. — De la pression. — De la pesanteur de l'air. — De son élasticité. — De la pesanteur en général. — De la pesanteur spécifique. — Du poids. — Ce qu'un corps perd de son poids quand il est plongé dans un fluide. — Poids d'un pied cube de différentes matières. — De la pression. — De la densité. — Moyen simple de connaître celle des fluides.

Principes de mécanique. — Idées générales de la mécanique. — Son objet. — Principe général des machines. — Leurs avantages. — Machines simples. — Extrait d'un mémoire sur la théorie des machines, où l'on trouve des

notions suffisantes sur les principes qui doivent diriger les praticiens dans les cas importans. — De la force motrice. — Moyen de l'évaluer par la comparaison avec les poids. — Quelle sera la quantité précise de mouvement dans une machine d'une construction donnée, animée par une puissance dont la manière d'agir ainsi que l'intensité et la résistance sont connues. — Comment l'action de la force motrice est tranférée dans une machine.

Des machines simples. — Du centre de gravité. — Du levier. — De la poulie. — Des mouffles. — Du treuil. — Du cabestan. — Des chaînes. — Plan incliné. — Vis. — Coin. — Roues. — Roues dentées. — Du frottement des cordes, avec un extrait du mémoire de M. Gaston sur les forces motrices. — On donne plusieurs applications du calcul aux effets de ces diverses machines.

CHAPITRE DEUXIÈME.

Des Matériaux propres à construire.

Des bois. — Nature et croissance des arbres. — Observations de Buffon sur les bois. — Diverses qualités et défauts des bois en général. — De la force absolue et de la force relative des bois. — De leur résistance. — Equarrissage des poutres et solives suivant leur longueur.

— Table des croissances en hauteur et en grosseur. — De la charpente en chataignier. — En sapin. — Moyen de conserver les bois. — Diverses observations de Duhamel du Monceaux sur la durée et la conservation des bois. — Précaution à prendre avant de peindre ou goudronner les bois. — Tables des expériences de Buffon sur la force du bois de divers équarrissages. - Des bois de brin et de sciage. Manière de débiter les derniers. — Table générale des diverses espèces de bois contenant leur périmètre moyen, leurs limites de croissance en grandeur ou en grosseur. — Leur force primitive, celle absolue; la force verticale; la force horizontale. — Le terrain qui leur convient, et le poids du pied cube, avec diverses applications de cette table. — De la force des bois inclinés. — Diverses expériences faites par Rondelet sur la force des bois, et comparaison avec celles de Buffon. — Formule analytique pour calculer la force des bois, suivant Rondelet. — Formule plus rigoureuse par M. Navier. — Expériences de M. Girard et de M. Lamandé, indiquant les flèches de courbure que prennent les bois avant de se rompre. — Table pour calculer le volume des bois ronds par leur circonférence moyenne. — Extrait des grandes tables de Rondelet, indiquant la plus grande force des bois posés horizontalement, d'après leurs dimensions exprimées en pieds et pouces. — Autre table pour des bois dont les dimensions sont exprimées en mètres et fractions décimales du mètre.

DES PIERRES.—Leurs qualités, défauts, résistance.— —Nomenclature des différentes espèces de pierres de taille qui se trouvent en France.—De la brique, de son choix, de ses qualités.—L'art du chauffournier.—De la chaux.—Comment on reconnaît la pierre à chaux. —De la pouzzolane.—De la glaise.—Du mortier.— Proportions de chaux et sable.—Du ciment loriot.— Du ciment romain.—Du béton.—Des dernières observations faites par M. Vicat sur la composition des mortiers et des bétons.—Différentes manières d'éteindre la chaux.—De la force des mortiers.—De la maçonnerie ordinaire.—De ses différentes espèces.—Du fer et de la fonte, et de leurs diverses espèces et qualités.—De leurs ténacités.

CHAPITRE TROISIÈME.

Des Ponts et de leurs diverses parties; des Principes d'après lesquels on doit les établir.

Détails sur les anciens ponts d'Italie, d'Angleterre, de Chine, vieux ponts de France, tels que ceux de Ceret, Lavaur, Gignac, Vieille-Brioude, Claix, etc.

Pont situé à l'intersection des canaux de Calais et d'Ardres, sur la route de Calais à St-Omer.—Pont de

Neuilli avec beaucoup de détails. — Bois de fondation. — Maçonnerie. — Fers. — Pavé. — Ouvrage à faire chaque année. — Alignement du pont. — Epuisemens. — Fondation d'une culée. — Des murs d'accompagnement. — Des piles. Bossages. — Murs de rampe. — Choix de la pierre. — Transport par eau de la pierre. — Précaution pour la pose des voussoirs. — De l'établissement des ponts. — Préférence aux ponts de pierre sur les ponts en bois. — Dimensions générales des pièces de bois pour les ponts en bois. — Des ponts de Schaffouze. — Aperçu de la quantité d'eau qui doit passer sous un pont. — Comment on évalue la quantité d'eau qui coule dans un fleuve. — L'emplacement d'un pont. — Des sondes. — Profil en travers. — Formes des arches. — Leur grandeur. — Largeur des ponts. — Tracé des arches. — Anses de panier à cinq centres, à sept centres, avec des formules. — Courbe des charpentiers par intersection de lignes. — Demi - ellipse. — Epaisseur des culées. — Extrait du mémoire de M. Boistard. — Théorie de Bélidor. — de Gauthey avec une table de divers ponts et de leurs dimensions principales.

Moyen de fonder sous l'eau, par Bélidor. — Batardeau avec beaucoup de détails. — Palplanches. — Détails sur l'ordre à suivre dans la construction d'un pont. — Fondations. — Première assise. — Crèches. — Ponts en briques. — Ponts de fer. — Pont des Arts. — Ponts de

bateaux. — Tournans. — Levis. — Pont tournant de M. de Cessart avec beaucoup de détails.

DES PONTS SUSPENDUS. — Des ponts suspendus, construis dans les Etats-Unis, en Angleterre, en Ecosse. — *Maximum* d'ouverture. — Des ponts de chaînes. — Des oscillations verticales des chaînes; des vibrations longitudinales. — De l'effet d'un choc très-violent. — Rapprochement de cette espèce de pont avec les autres genres de pont. — Avantage des premiers. — Calcul des diverses parties. — Des longueurs des chaînes, de leur tension; de l'abaissement du plancher. — De la tension au point d'appui; de celle de la chaîne de retenue; de la pression sur les points d'appui; du glissement et du frottement sur les supports; du cas où il y a plusieurs arches. — De la ténacité du fer. — Moyen de calculer la section des chaînes.

DES FONDATIONS. — Extrait d'un mémoire de Perronet sur les différentes manières d'établir les ouvrages dans l'eau. — Fondation du pont de Saintes par Blondel. — Détails de fondation. — Pont de Coursac. — L'écluse de Silvéréal. — Fondation sur roc. — Sur pilots et avec palplanches. — Par enrochemens. — Fondations du pont de Westminster par Labélie, avec beaucoup de détails. — Caisson.

CHAPITRE QUATRIÈME.

Des Machines propres à enfoncer les Pilots, à draguer, à arracher les pieux; et des Grues.

Détails d'une sonnette pour enfoncer les pilots; poids du mouton — Du nombre d'hommes nécessaires. — Evaluation de la dépense. — Sonde pour connaître la nature du terrain où l'on veut fonder. — Mise en fiche d'un pilot. — Machine qui a servi à l'enfoncement des pieux du pont de Westminster. — Machine à enfoncer les pieux inclinés. — Détails d'une scie à recéper. — Machine à arracher les pieux. — Grue qui a servi au pont de Neuilli. — Grue de Padmore.

CHAPITRE CINQUIÈME.

Des Voûtes et de leurs Cintres; de la Poussée des terres.

De la poussée des voûtes d'après la Hire, Parent, Bélidor. — Trouver l'épaisseur des piédroits d'une voûte en plein cintre. — Surbaissée. — Des culées.

Des cintres. — De l'intervalle des fermes. — De la composition des fermes; de la forme d'un cintre. — Théorie de M. Pitot pour les arcs surbaissés. — Calcul de la force de chaque pièce. — Des cintres retroussés ou à articu-

lation. — Extrait du mémoire de M. Perronet sur le cintrement et le décintrement pour les arches de 60, 90 et 120 pieds d'ouverture. — Différens mouvemens que prennent les voûtes. — Décintrement du pont de Nemours, d'après le mémoire de M. Boistard. — Effets remarqués pendant la construction des voûtes. — Détail de la composition des cintres. — Calcul de la force des cintres suivant Rondelet. — Théorie des arcs par Wolton — Table des épaisseurs à la clé, et des épaisseurs des piles pour les voûtes en plein cintre, et celles surbaissées au tiers.

De la poussée des terres. — De la poussée des terres suivant les meilleurs auteurs. — Table des épaisseurs à donner au sommet et à la base des murs de rempart, avec talus et parapets et sans contreforts, pour que leur résistance soit double de la poussée, suivant Rondelet. — La même table, sans contreforts ni parapets. — Trouver, par une opération géométrique, l'épaisseur à donner à un mur à plomb, pour qu'il résiste, avec une force suffisante, à la poussée des terres. — Formule analytique d'après Gauthey. — Méthode et formules données par plusieurs ingénieurs. — Tables de comparaison entre les résultats donnés par les ingénieurs, et ceux résultant des formules de M. de Prony. — Réduction à opérer sur l'épaisseur d'un mur de revêtement, lorsqu'on élève un parapet au-dessus de ce mur.

TROISIÈME PARTIE.

DES CANAUX ET DES AQUEDUCS.

CHAPITRE PREMIER.

De l'Eau, des Fluides en général, et de leur résistance.

De l'eau. — Sa pesanteur spécifique. — De sa vitesse. — Du frottement qu'elle éprouve dans les rivières. — Mesure de la vitesse des eaux. — Comparaison de sa force avec celle de l'air. — De la dépense des jets-d'eau. — De l'épaisseur des tuyaux de conduite.

Des fluides en général. — Différence des fluides et des liquides. — Du choc des fluides. — De leur résistance. Situation la plus avantageuse des ailes de moulin. — Du jaugeage des eaux. — Distribution d'une source dans une ville. — Du pouce d'eau. — Jaugeage suivant la méthode de M. de Prony. — Formules algébriques pour obtenir le produit d'une rivière. — Pour connaître la vitesse moyenne. — Du bélier hydraulique de Mongolfier. — De l'hydromètre pour mesurer les pesanteurs spécifiques. — Des pompes en général. — Pompe aspirante. Pompe foulante. — Des soupapes. — De la vapeur de l'eau. — De la pompe à feu de Cartwright — Description détaillée de cette machine. — De la résistance des chaudières des machines à vapeur. — Ce qu'on entend quand on dit qu'une machine à vapeur est de tant de chevaux.

CHAPITRE DEUXIÈME.

Des Fleuves, des Epis, des Bateaux et des Machines à épuiser.

Des fleuves et des epis. — Origine des fleuves et rivières.—Influence de la pente sur la vitesse des fleuves, par rapport à la manière dont ils corrodent leurs rives. — Des épis. — De leurs dispositions. — De leur objet. — Détails de construction — Clayons. — Couchis de fascines. — Des tunes. — De l'enracinement d'un épi. — De son tracé. — Des accidens qui peuvent survenir pendant la construction, et comment on y remédie. — Moyen simple de former des attérissemens.

Des bateaux. — Des bateaux de la Loire. — Des Baroises. — De ceux qui naviguent sur l'Ourcq. — De la remonte des bateaux. — De la force des rames avec l'application du calcul de M. de la Hire. — Mécanisme propre à faire remonter les bateaux contre le courant. —Bateau inventé à cet effet.—Détails de sa construction. — Détails d'un bateau de secours pour les naufragés.

Machines a épuiser. — Usages des baquets et des seaux. — Des hollandaises. — Vis d'Archimède. — Bascule pour les épuisemens. — Chapelet vertical. — Chapelet incliné.

CHAPITRE TROISIÈME.

Des Canaux.

Détails historiques sur l'établissement des canaux.— En Egypte. — Chez les Romains. — Chez les Chinois. — Dans la moderne Italie. — En Hollande. — En Angleterre. — En Suède. — En Russie. — En Espagne. — Importance et difficultés d'un projet de canal. — Observations pour son établissement. — Comment on diminue la dépense de l'eau. — Transpirations. — Vitesse des eaux des rigoles. — Ecluse de prise d'eau. — Evaluation de la dépense qu'occasionnera ce genre d'ouvrage. — Devis d'une partie de canal par Perronet, où l'on parle de digues, contrefossés. — Détails de construction. — Moyens de prévenir les filtrations. — Contre-banquettes. — Déversoirs de fond. — Ponts-aqueducs. — Radeau de Libron. — Détails sur le canal du Languedoc. — Point de partage. — Ecluses. — Bassin de St-Féréol. — Ecluse ronde. — Voûte de Malpas. — Aqueduc du pont de Cesse. — Montagne Noire. — Détails sur le canal de St-Quentin. — Du desséchement des marais. — Tableaux des fleuves et rivières navigables, ainsi que des canaux de toute la France, avec l'indication des divers départemens traversés par ces grands cours d'eau, et de leurs diverses longueurs. — Des canaux considérés sous leur

rapport administratif. — Extrait d'un rapport fait au Roi sur l'état de la navigation en France — Son importance. — Son étendue. — Sur les moyens de la rendre plus florissante, etc. — Comparaison des lignes de navigation. — Canaux de première classe, ou lignes de jonction des deux mers. — Des dépenses à faire sur ces grandes lignes. — Canaux de deuxième classe, ou canaux à terminer. — Canaux de troisième classe, ou canaux à entreprendre divisés en plusieurs régions. — Résumé général de la dépense nécessaire pour compléter un système général de navigation.

CHAPITRE QUATRIÈME.

Des Écluses et des Pertuis.

Quand les écluses ont été inventées. — Différentes parties dont elles sont composées. — Comment on les trace en général. — Sas — Bajoyers. — Portes busquées. — Table de la hauteur des murs d'une écluse. — Tracé d'une grande écluse. — Heurtoirs. — Enclaves. — Contreforts. — Crapaudines — Chardonnet. — Poteau tourillon. — Pression de l'eau contre les portes. — Détails de leur construction. — Pression sur les vannes — Epaisseur des entre-toises. — Ferrures des portes. — Pivot. — Collier. — Moyen de lever les vannes. — Calcul de la résistance qu'elles éprouvent. — Détails et précautions à

prendre pour fonder les écluses. — Explication du profil d'une grande écluse. — Bracons. — Poinçon. — Cric. — Ecluse à vanne pour l'entrée des eaux. — Vanne à bascule. — Usage des écluses pour rendre une rivière navigable. — Bascule appelée fléau pour fermer les portes d'une écluse. — Détail d'une écluse en charpente.

Des pertuis, ou passages pratiqués dans une rivière pour augmenter sa profondeur d'eau, et la rendre navigable, avec beaucoup de détails sur leur perfectionnement. — Des plans inclinés en usage pour la navigation. — Ecluse de M. de Bétancourt, avec tous ses détails. — Extrait du devis de M. Perronet pour la construction d'une écluse du canal de Bourgogne.

CHAPITRE CINQUIÈME.

Des Aqueducs.

Des aqueducs qui assurent l'écoulement des eaux sous les routes. — De ceux qui amènent l'eau dans les grandes villes. — Des aqueducs d'Egypte. — De Grèce. — De Sparte. — De Spolette. — De Fréjus. — De Nîmes sur le pont du Gard. — Aqueducs de Lyon. — De Ségovie. — De Rome. — D'Arcueil. — Ce qu'on entend par pouce d'eau. — Aqueduc de l'Yvette. — De Montpellier et de Maintenon.

LA SCIENCE DE L'INGÉNIEUR.

PREMIÈRE PARTIE.

DES CHEMINS.

CHAPITRE PREMIER.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES SUR LA GÉOMÉTRIE, LA TRIGONOMÉTRIE, L'ARPENTAGE, LE NIVELLEMENT, LA PERSPECTIVE ET LE DESSIN.

NOTIONS ÉLÉMENTAIRES DE GÉOMÉTRIE.

La perpendiculaire est une ligne qui tombe directement sur une autre ligne, de façon qu'elle ne penche pas plus d'un côté que de l'autre, et fait par conséquent, de part et d'autre, des angles égaux.

Ainsi, la ligne IG *(pl. LV, fig. 7)* est perpendiculaire à la ligne KH, c'est-à-dire, qu'elle fait, avec cette ligne KH, des angles droits et égaux. De cette définition de la perpendiculaire, il suit :

1° Que la perpendiculaire est mutuelle et réciproque, c'est-à-dire, que, si une ligne IG est perpendiculaire à une ligne HK, cette ligne KH est aussi perpendiculaire à cette même ligne IG;

2° Que, d'un point donné, on ne peut tirer qu'une perpendiculaire à une ligne donnée ;

3° Que, si on prolonge une ligne perpendiculaire à une autre, de manière qu'elle passe de l'autre côté de cette ligne, la partie prolongée sera aussi perpendiculaire à cette même ligne ;

4° Que, si une ligne droite, qui en coupe une autre, a deux points qui soient chacun à égale distance des extrémités de la ligne qu'elle coupe, elle sera perpendiculaire à cette ligne ;

5° Qu'une ligne perpendiculaire à une autre ligne, est aussi perpendiculaire à toutes les parallèles qu'on peut mener à cette ligne ;

6° Que la perpendiculaire est la plus courte de toutes les lignes qu'on peut tirer d'un point donné à une ligne droite donnée.

Pour élever une perpendiculaire d'un point C pris à volonté, sur une ligne droite AB *(2e fig. 7, pl. LV)*,

Prenez de part et d'autre de ce point C les grandeurs égales CE et CF ; ensuite, des points E et F pour centre, et de l'intervalle ED pris à volonté, faites deux arcs qui se coupent en D, d'où vous tirerez une ligne en C.

On appelle parallèles des lignes ou des surfaces qui sont partout à égales distances l'une de l'autre, ou qui, prolongées à l'infini, ne deviennent jamais ni plus rapprochées ni plus éloignées l'une de l'autre.

Ainsi, les lignes droites parallèles sont celles qui ne se rencontrent jamais, quoique prolongées à l'infini : la ligne OD *(fig. 3, pl. LV)* est parallèle à QR.

Les lignes parallèles sont d'un très-grand usage en géométrie soit spéculative, soit pratique. En tirant des parallèles à des lignes données, on forme des triangles semblables qui servent merveilleusement à résoudre des problèmes de géométrie : dans les arts, il est presque toujours question de parallèles.

Les géomètres démontrent que deux lignes parallèles à une troisième ligne, sont aussi parallèles l'une à l'autre ; et que, si deux parallèles OD et QR sont coupées par une ligne transversale ST, 1° les angles alternes internes x sont égaux ; 2° les angles correspondans x, y, sont aussi égaux ; u et y sont aussi égaux à la somme de deux angles droits, comme étant externes d'un même côté par rapport à la sécante.

On décrit des lignes parallèles en abaissant des perpendiculaires égales sur une même ligne, et en tirant des lignes par l'extrémité de ces perpendiculaires.

Il existe un instrument composé de deux règles de bois ou de cuivre, AB, CD (*pl. LV, fig.* 37), également larges partout, et jointes ensemble par des lames de traverse EF et GH, de manière qu'elles peuvent s'ouvrir à différens intervalles, s'approcher et s'éloigner, et rester néanmoins toujours parallèles entr'elles.

L'usage de cet instrument est bien sensible ; car l'une des règles étant appliquée sur RS, si on éloigne l'autre jusqu'au point donné A, une ligne droite EG, tirée le long de son bord par ce point E, est parallèle à la ligne RS.

Le parallélogramme est une figure rectiligne de quatre côtés, dont les côtés opposés sont parallèles et égaux. Ainsi (*pl. LVI, fig.* 8), on a AD=BC et AB=DC ; et alors, la figure ABCD est un parallélogramme.

Le parallélogramme est formé ou peut être supposé formé par le mouvement uniforme d'une ligne droite, toujours parallèle à elle-même.

Quand le parallélogramme a tous ses angles droits, et seulement ses côtés opposés égaux, on le nomme rectangle ou carré long ; quand les angles sont tous droits et les côtés égaux, il s'appelle carré.

Si tous les côtés sont égaux et les angles inégaux, on l'appelle losange.

S'il n'y a que les côtés opposés qui soient égaux, et les angles opposés aussi égaux, mais non droits, c'est un rhomboïde. On appelle EF perpendiculaire à la base d'un parallélogramme, la hauteur de ce parallélogramme (*Voyez fig.* 9, *pl. LVI*).

Tout autre quadrilatère, dont deux côtés opposés sont parallèles sans être égaux, s'appelle un trapèze.

Tout parallélogramme, de quelque espèce qu'il soit, par exemple, celui ABCD (*pl. LV bis, fig.* 6), est divisé par la diagonale BD en deux parties égales : les angles diagonalement opposés B et D sont égaux; les angles adjacens au même côté CD et AB sont ensemble égaux à deux angles droits, et deux côtés pris ensemble sont plus grands que la diagonale.

Deux parallélogrammes ABCD et ECDF, sur la même ou sur une égale base, et de la même hauteur AC (*pl. LV, fig.* 6), ou entre les mêmes parallèles AF, CD, sont égaux en surface; d'où il suit 1° que deux triangles CDA et CDF, sur la même base et de la même hauteur, sont aussi équivalens; 2° que tout triangle CFD est moitié du parallélogramme ACDB, sur la même ou sur une égale base CD, et de la même hauteur, ou entre les mêmes parallèles; 3° qu'un triangle est équivalent à un parallélogramme qui a la même base et la moitié de la hauteur, ou moitié de la base et la même hauteur.

Les parallélogrammes sont en raison composée de leur base et de leur hauteur; si donc les hauteurs sont égales, ils sont comme les bases, et réciproquement.

Dans les parallélogrammes et les triangles semblables, les hauteurs sont proportionnelles aux côtés homologues : de là il suit que les parallélogrammes et les triangles semblables sont en raison doublée de leurs côtés homologues, aussi bien que de

leur hauteur et de leur base ; ils sont donc comme les carrés des côtés, des hauteurs et des bases.

Dans tout parallélogramme, la somme des carrés des deux diagonales est égale à la somme des carrés des quatre côtés.

On appelle cercle une figure plane, renfermée par une seule ligne qui retourne sur elle-même, et au milieu de laquelle est un point situé de manière que les lignes qu'on en peut tirer à la circonférence, sont toutes égales. Ainsi (*fig.* 22, *pl. LV*), ADBE est un cercle dont CA, CB, CD, CE sont des rayons qui sont tous égaux entr'eux. A proprement parler, le cercle est l'espace renfermé par la circonférence.

Toute partie de la circonférence est appelée arc; toute ligne droite, menée de part et d'autre par la circonférence, est appelée corde ou sous-tendante. Si la corde passe par le centre, on la nomme diamètre, telle que ACB, DCE. Si du même centre on décrit plusieurs circonférences, elles sont appelées concentriques.

Tous les diamètres, ainsi que tous les rayons, sont égaux entr'eux. Dans un cercle (*fig.* 10), les cordes égales AE, EB sous-tendent des arcs égaux AE, EB; et réciproquement des arcs égaux sont sous-tendus par des cordes égales.

Tout rayon CE perpendiculaire à la corde AB la partage en deux parties égales au point D, et divise l'arc sous-tendu AEB aussi en deux parties égales au point E.

La perpendiculaire AD sur le diamètre NE est moyenne proportionnelle entre les deux segmens DE et DN.

Tous les angles qui ont leur sommet en un point quelconque N de la circonférence, comme ANB, et qui s'appuyent sur le même arc AEB, sont égaux; et l'angle au centre ACB est le double de tout angle ayant son sommet sur un des points de la circonférence, et s'appuyant sur le même arc AEB.

Tout cercle est supposé divisé en trois cent soixante degrés ; chaque degré se divise en soixante minutes ; chaque minute en soixante secondes, etc. On a divisé le cercle en trois cent soixante parties, à cause du grand nombre de diviseurs dont le nombre trois cent soixante est susceptible.

On trouve l'aire d'un cercle en multipliant la circonférence par le quart du diamètre, ou la moitié de la circonférence par le rayon ; l'aire du cercle est égale à πR^2 ; π étant le rapport numérique du diamètre à la circonférence, et R la longueur du rayon, on sait que la valeur approximative de π est 3,141.

L'aire d'un secteur de cercle a pour mesure la moitié du produit de l'arc par le rayon.

L'aire d'un segment s'obtient en retranchant de l'aire du secteur celle du triangle correspondant.

Les cercles et les figures semblables qu'on peut y inscrire, sont toujours entre elles comme les carrés des diamètres, ou les cercles sont entre eux en raison doublée des diamètres, et par conséquent aussi des rayons.

Le cercle est équivalent à un triangle dont la base est la circonférence, et la hauteur le rayon ; les cercles sont donc en raison composée de celle des circonférences et de celle des rayons.

Le rapport du diamètre à la circonférence, est, selon Archimède, à peu près de 7 à 22.

On appelle figure circonscrite à un cercle celle dont tous les côtés sont tangens à la circonférence.

Pour circonscrire un carré à un cercle, tirez deux diamètres perpendiculaires entre eux AB, DE (*fig. 22, pl. LV*), et par les quatre points de rencontre A, E, B, D, menez des perpendiculaires aux diamètres AB, DE ; ces quatre perpendiculaires par leurs intersections détermineront le carré circonscrit IFGH.

On dit qu'une droite AB, (*fig.* 19) qui ne touche la circonférence ALD qu'en un seul point A, est une tangente à cette circonférence.

La tangente BA a son carré équivalent au rectangle formé avec la sécante BD partant du même point B, et avec sa partie extérieure BL.

Pour partager une ligne BA en moyenne et extrême raison, c'est-à-dire, de manière que la plus grande partie soit moyenne proportionnelle entre la ligne AB et la plus petite partie ; élevez sur BA, au point A, la perpendiculaire AC égale à la moitié de AB ; joignez BC ; du point C, comme centre, et d'un rayon CA, decrivez la circonférence ALD qui coupera BC en L, et BL sera la plus grande partie cherchée de la ligne AB divisée en moyenne et extrême raison. En portant BL sur BA, on connaîtra facilement la plus petite partie.

On appelle polygone une figure de plusieurs côtés. Si les côtés et les angles sont égaux, la figure est appelée polygone régulier.

On distingue les polygones suivant le nombre de leurs côtés ; ceux qui en ont cinq s'appellent pentagones ; telle est la figure ABCDE (*fig.* 21, *pl. LV*). Les hexagones en ont six, les heptagones sept, les octogones huit, les décagones dix, etc.

Tout polygone peut être divisé en autant de triangles qu'il a de côtés, ce qui se fait en prenant un point comme F (*fig.* 20) en quelque endroit que ce soit au-dedans du polygone, d'où l'on tire à chaque angle les lignes F*a*, F*b*, F*c*, F*d*, etc.

Les angles d'un polygone pris ensemble, font deux fois autant d'angles droits moins quatre, que la figure a de côtés ; ce qui est aisé à démontrer, car tous les triangles font deux fois autant d'angles droits que la figure a de côtés, et il faut retrancher de cette somme les angles autour du point F, qui valent quatre angles droits.

Par conséquent, si le polygone a 5 côtés, en doublant on a 10, d'où ôtant 4, il reste 6 angles droits.

Tout polygone circonscrit à un cercle est équivalent à un triangle rectangle, dont un des côtés est le rayon du cercle, et l'autre est le périmètre ou la somme de tous les côtés du polygone.

Tout polygone circonscrit à un cercle est plus grand que le cercle, et tout polygone inscrit est plus petit.

Il suit encore que le périmètre de tout polygone circonscrit à un cercle est plus grand que la circonférence de ce cercle, et que le périmètre de tout polygone inscrit à un cercle est plus petit que la circonférence de ce cercle.

Pour trouver l'aire d'un polygone régulier ABCDE, multipliez un côté, comme AB, par la moitié du nombre des côtés, par exemple, le côté d'un hexagone par trois; multipliez encore le produit par une perpendiculaire abaissée du centre du cercle circonscrit sur le côté AB, le produit est l'aire que l'on demande.

Ainsi, supposons AB = 54 et la moitié du nombre des côtés = $2\frac{1}{2}$; le produit ou le demi-périmètre = 135 : supposant alors que la perpendiculaire soit 29, le produit 3915 de ces deux nombres est l'aire du pentagone.

Pour trouver l'aire d'un polygone irrégulier ou d'un trapèze, résolvez-le en triangle ; déterminez les différentes aires de ces différens triangles, la somme de ces aires est l'aire du polygone proposé.

Pour trouver la somme de tous les angles intérieurs d'un polygone, multipliez le nombre des côtés par 180 degrés; ôtez de ce produit le nombre 360, le reste est la somme cherchée.

Ainsi, dans un pentagone, 180 degrés multipliés par 5, donnent 900; d'où soustrayant 360, il reste 540, qui est la somme des angles d'un pentagone; d'où il suit que, si l'on divise la somme trouvée par le nombre des côtés, le quotient sera l'angle intérieur d'un polygone régulier.

On trouve la somme des angles d'une manière plus expéditive, comme il suit : multipliez 180 par un nombre plus petit de deux que le nombre des côtés du polygone ; le produit est la quantité des angles cherchés ; ainsi, 180 degrés multipliés par 3, qui est un nombre plus petit de deux que le nombre des côtés, donne le produit 540 pour la quantité des angles, ainsi que ci-dessus.

Soit n le nombre des côtés d'un polygone régulier ou non, la somme des angles intérieurs représentés par $S = (n-2)\ 180$ degrés.

Et en appelant a la grandeur d'un des angles intérieurs du polygone régulier, on a $a = \frac{(n-2)}{n}\ 180$ degrés.

Pour inscrire un polygone régulier dans un cercle, divisez 360 par le nombre des côtés du polygone proposé ; afin d'avoir la quantité de langle EFD, prenez cet angle EFD au centre (*fig.* 20) et portez-en la corde ED sur la circonférence autant de fois qu'elle pourra y aller, de cette manière on aura le polygone inscrit au cercle.

Pour circonscrire un cercle à un polygone régulier, coupez deux des angles du polygone donné, comme A et E, (*fig.* 20) en deux également, par les lignes droites AF et EF qui concourent en F, et du point de concours avec le rayon EF décrivez un cercle.

Pour circonscrire un polygone régulier à un cercle, divisez 360 par le nombre des côtés requis, afin d'avoir l'angle AFE ; formez cet angle au centre F, et tirez la ligne Fg qui rencontre la circonférence en g au milieu de l'arc AE ; tirez ensuite la tangente ega, et sur cette ligne construisez un polygone régulier du nombre de côtés requis que je suppose n, en cherchant d'abord l'angle intérieur qui est $\frac{(n-2)}{n}\ 180$; faisant cet

angle au point *e* en s'appuyant sur *ea* et prenant $ed = ea$, on fera passer par les trois points *a*, *e*, *d*, une circonférence sur laquelle on appliquera $(n-2)$ fois le côté *ea*, à partir du point *d* pour aller regagner le point *a*. Par ce moyen, on aura décrit la figure requise.

Pour inscrire trigonométriquement un polygone régulier, trouvez le sinus de l'arc qui vient en divisant la demi-circonférence 180 par le nombre des côtés du polygone ; le double de ce sinus est la corde de l'arc double, et par conséquent le côté AE (*fig.* 20) qui doit être inscrit au cercle ; c'est pourquoi avec le rayon donné, décrivez ce cercle et portez sur la circonférence de ce cercle le côté du polygone autant de fois que vous le pourrez ; vous aurez, de cette manière, un polygone inscrit au cercle.

Afin d'éviter l'embarras de trouver, par les tables des sinus, le rapport d'un côté du polygone à son rayon, nous ajouterons une table qui exprime les côtés des polygones réguliers en parties dont le rayon en contient 10,000,000. Dans la pratique, on retranche autant de figures de la droite que l'on en juge de superflues par les circonstances du cas proposé.

NOMBRE des CÔTÉS.	QUANTITÉ du CÔTÉ.	NOMBRE des CÔTÉS.	QUANTITÉ du CÔTÉ.
3	17,320,508	8	7,653,668
4	14,142,135	9	6,840,402
5	11,755,705	10	6,180,339
6	10,000,000	11	5,634,651
7	8,677,674	12	5,176,380

Pour décrire trigonométriquement un polygone régulier sur une ligne droite donnée, et pour circonscrire un cercle autour d'un polygone donné, en prenant dans la table le rapport d'un côté au rayon, déterminez le rayon sur la même échelle que le côté donné ; or, ayant un côté et le rayon, on peut décrire un polygone par le dernier problème ci-dessus ; donc, si, avec l'intervalle du rayon et des extrémités de la ligne donnée, on trace deux arcs qui se coupent, le point d'intersection sera le centre du cercle circonscrit.

Ayant un polygone inscrit régulier (*fig.* 20), si l'on voulait avoir un polygone circonscrit semblable : tirez du centre au milieu des arcs *g*, *h*, etc., soutendus par les côtés du polygone inscrit, des droites F*g*, F*h*, etc., et par les points *g*, *h*, etc. ; menez à ces droites des perpendiculaires *ega*, *ahb*, *bc*, *cd*, *de*, qui formeront le polygone circonscrit demandé.

Réciproquement, connaissant ce dernier polygone, si l'on voulait avoir un polygone inscrit semblable ou du même nombre de côtés : tirez des angles *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, du polygone circonscrit, des lignes *a*F, *b*F, etc., aboutissant au centre du cercle inscrit, et joignez deux à deux les points d'intersection A, B, C, D, E, de ces lignes avec la circonférence, ce qui donne le polygone inscrit demandé.

La fig. 21, pl. LV, représente un pentagone régulier inscrit. C'est la forme de la plupart des citadelles. La propriété la plus saillante de cette figure, c'est que le carré du côté DE est égal à la somme des carrés du rayon du cercle circonscrit FA, et du côté du décagone régulier inscrit au cercle. Ce dernier côté est lui-même égal au plus grand segment du rayon du cercle circonscrit, divisé en moyenne et extrême raison.

Le côté du décagone étant trouvé, on peut connaître aisément le côté du pentagone, puisqu'il n'y a qu'à doubler l'angle au

centre du décagone, et prendre la corde qui sous-tend cet angle. On peut aussi le trouver, mais moins commodément, par la proportion ci-dessus, en cherchant l'hypothénuse d'un triangle rectangle, dont le rayon et le côté du décagone soient les deux côtés de l'angle droit.

L'ovale est une figure curviligne oblongue, dont les deux diamètres sont égaux, ou une figure renfermée par une seule ligne courbe d'une rondeur non uniforme, et qui est plus longue que large, à peu près comme un œuf, *ovum*, dont lui est venu le nom d'ovale.

L'ovale proprement dite est vraiment semblable à un œuf, c'est une figure irrégulière, plus étroite par un bout que par l'autre, en quoi elle diffère de l'ellipse, qui est une ovale mathématique, également large à ses deux extrémités.

Le vulgaire confond ces deux espèces d'ovale ; les géomètres appellent l'ovale proprement dite *fausse ellipse*.

L'ellipse s'appelle communément ovale du jardinier. On remarquera, en examinant la fig. 24, (*pl. LV*), que l'ovale est d'autant plus oblongue que les deux points E, F, qui sont les foyers, sont plus éloignés l'un de l'autre. Les lignes GE, GF, qui aboutissent d'un point commun du périmètre de cette courbe aux deux foyers, s'appellent rayons vecteurs ; ils sont toujours en somme égaux au grand axe AB ; les points E et F s'obtiennent en portant de l'extrémité C du petit axe, CE, CF égaux chacun à AD demi-grand axe. Ainsi, quand on connaît les deux axes, on connaît facilement les foyers, et au moyen de la propriété des rayons vecteurs, on peut aisément tracer l'ellipse, ainsi qu'on l'expliquera quand on traitera des anses de panier dans la construction des ponts.

Ayant décrit (*pl. LV, fig. 4*) les deux cercles égaux A et C, élevez une perpendiculaire indéfinie GE sur le milieu G de la

distance des centres A et C, prenez un point E quelconque sur GE, et tirez les lignes EAB, ECD, jusqu'à la rencontre des deux circonférences en B et D; du point E, comme centre, et d'un rayon égal à EAB, ou à son égal ECD, décrivez l'arc BD qui touchera les deux cercles en B et D; et si l'on en fait autant de l'autre côté, on aura l'ovale complète BD *b d*, dans laquelle le grand axe *b d* s'obtient en prolongeant AC de part et d'autre, jusqu'en *b* et *d*.

La cycloïde est une des courbes mécaniques, ou, comme les nomment d'autres auteurs, transcendantes : on l'appelle quelquefois roulette.

Cette courbe est décrite par le mouvement d'une point A de la circonférence d'un cercle (*pl. XXXIX*, *fig.* 6), tandis que le cercle fait une révolution sur une ligne droite AP. Quand une roue de carrosse tourne, un des clous de la circonférence décrit dans l'air une cycloïde.

De cette génération il est facile de déduire plusieurs propriétés de cette courbe, savoir : que la ligne droite AE est égale à la circonférence ABMD, et AC égale à la demi-circonférence; et que, dans une situation quelconque du cercle générateur, la ligne droite A*d* est égale à l'arc du cercle *ad*. La longueur de la cycloïde entière est égale à quatre fois le diamètre du cercle générateur, et l'espace cycloïdal AFE est triple de l'aire de ce même cercle. Enfin, une portion quelconque FI de la courbe prise depuis le sommet, est toujours égale au double de la corde correspondante F*b* du cercle; et la tangente GI à l'extrémité I est toujours parallèle à la même corde F*b*. Si le cercle tourne et évacue en même temps, de manière que son mouvement rectiligne soit plus grand que son mouvement circulaire, la cycloïde est alors nommée cycloïde allongée, et la base AE est plus grande que la circonférence du cercle générateur. Au contraire, si le mouvement recti-

ligne du cercle est moindre que le mouvement circulaire, la cycloïde est nommée cycloïde raccourcie, et sa base est moindre que la circonférence du cercle.

Cette courbe a des propriétés bien singulières; son identité avec sa développée, les chutes en temps égaux par des arcs inégaux de cette courbe, et la plus vite descente, sont les plus remarquables. En général, à mesure qu'on a approfondi la cycloïde, on y a découvert plus de singularités. Si l'on veut qu'un pendule fasse des vibrations inégales en des temps absolument égaux, il ne faut pas qu'il décrive des arcs de cercle, mais des arcs de cycloïde; si l'on développe une demi-cycloïde en commençant par le sommet, elle rend, par son développement, une autre demi-cycloïde semblable et égale, etc., etc.

Une surface qui jouit de la propriété qu'en joignant deux de ses points pris à volonté par une droite, celle-ci se trouve toute entière sur la surface, est appelée plan ou surface plane. Soient deux plans BACD et LEGK (*fig.* 8, *pl. LV bis*) qui se rencontrent suivant une intersection commune EG, cette ligne EG sera une droite; l'angle des deux plans se mesurera par l'angle rectiligne formé par deux droites menées dans chacun des deux plans perpendiculairement à leur intersection commune EG, au point H; et, si les deux plans sont perpendiculaires entr'eux, la ligne HI, menée dans le plan LG perpendiculairement à l'intersection EG, sera aussi perpendiculaire au plan BACD; et réciproquement, si les deux plans BACD, LEGK, sont perpendiculaires entr'eux, toute droite *hi* élevée en un point *h* de la commune intersection des deux plans perpendiculairement au plan BACD, sera toute entière dans le plan LEGK.

Le parallélipipède est un corps solide compris sous six parallélogrammes, dont les opposés sont parallèles et égaux (*pl. LV*, *fig.* 5). Tous les parallélipipèdes, prismes, cylindres, dont les bases et les hauteurs sont égales, sont équivalens entr'eux.

Un prisme est un corps composé de plusieurs faces parallélogrammiques réunies à deux polygones qu'on appelle bases du prisme, qui sont égaux et dans des plans parallèles. On verra ci-dessous la définition du cylindre.

Un plan diagonal divise un parallélipipède en deux prismes triangulaires équivalens; c'est pourquoi un prisme triangulaire n'est que la moitié d'un parallélipipède de même base et de même hauteur.

Tous les parallélipipèdes, prismes, etc., sont en raison composée de leur base et de leur hauteur; c'est pourquoi, si leurs bases sont égales, ils sont en raison de leur hauteur; et si les hauteurs sont égales, ils sont en raison de leur base.

Tous les parallélipipèdes semblables, c'est-à-dire, dont les côtés et les hauteurs sont proportionnels, et dont les angles correspondans sont les mêmes, sont en raison triplée de leurs côtés homologues ; ils sont aussi en raison triplée de leur hauteur.

Pour mesurer la surface et la solidité d'un parallélipipède, déterminez les aires des parallélogrammes ILMK, LMON et OMPK ; faites-en une somme, et multipliez-la par deux, le produit sera la surface du parallélipipède. Ensuite, si on multiplie la base ILMK par la hauteur MO, le produit sera la solidité.

Le cylindre est un corps solide, terminé par trois surfaces, dont deux sont planes, et l'autre convexe et circulaire. On peut le supposer engendré par la rotation d'un parallélogramme rectangle GBEF (*pl. XXXIX, fig.* 7) autour d'un de ses côtés CF, lorsque le cylindre est droit, c'est-à-dire, lorsque son axe CF est perpendiculaire à sa base : un bâton rond est un cylindre.

La surface d'un cylindre droit, sans y comprendre les bases, est égale au rectangle fait de la hauteur du cylindre par la circonférence de sa base.

Ainsi, la circonférence de la base et par conséquent la base elle-même étant donnée, si on multiplie l'aire de cette base par deux, et qu'on ajoute ce produit à celui de la circonférence de la base par la hauteur du cylindre, on aura la surface entière du cylindre, et sa solidité sera égale au produit de la hauteur par l'aire de la base.

Tous les cylindres, cônes, etc., sont entre eux en raison composée de leurs bases et de leurs hauteurs. Donc, si les bases sont égales, ils sont entre eux comme leurs hauteurs; et si leurs hauteurs sont égales, ils sont entre eux comme leurs bases.

Un cône est un corps engendré par la révolution d'un triangle rectangle autour d'un des côtés de l'angle droit; et une sphère est un solide engendré par la révolution d'un demi-cercle autour de son diamètre.

La surface convexe d'un cône droit est égale à la circonférence de la base multipliée par la moitié du côté du cône ou de son apothème. Le volume du cône droit est égal au tiers du produit du cercle de sa base par sa hauteur.

Tous les rayons de la sphère sont égaux, et tous les diamètres sont doubles du rayon. Toute section de la sphère par un plan est une circonférence de cercle. On appelle grand cercle toute section qui passe par le centre de la sphère; petit cercle, celle qui n'y passe pas.

Tout grand cercle divise la sphère et sa surface en deux parties égales.

La surface d'une sphère est égale à son diamètre multiplié par la circonférence d'un grand cercle.

Le volume de la sphère est égal à son aire multipliée par le tiers du rayon, ou à l'aire d'un grand cercle multipliée par les deux tiers du diamètre.

Les volumes des deux sphères sont entre eux comme les cubes de leurs rayons.

L'aire convexe du cylindre circonscrit à la sphère est égale à celle de cette sphère, et le volume de ce dernier corps n'est que les deux tiers de celui du premier. La surface de ce dernier n'est aussi que les deux tiers de celui du cylindre, en y comprenant ses deux bases.

NOTIONS ÉLÉMENTAIRES DE TRIGONOMÉTRIE, D'ARPENTAGE ET DE NIVELLEMENT.

La trigonométrie est une partie de la géométrie qui enseigne à connaître les côtés et les angles d'un triangle dont on connaît déjà deux angles et un côté, ou deux côtés et un angle, ou enfin les trois côtés.

La trigonométrie est de la plus grande nécessité dans la pratique : c'est par son secours qu'on vient à bout de la plupart des opérations de la géométrie-pratique ; elle est fondée sur la proportion mutuelle qui est entre les côtés et les angles d'un triangle : cette proportion se détermine par le rapport qui règne entre le rayon d'un cercle et certaines lignes que l'on appelle cordes, sinus, tangentes et sécantes.

Le principe fondamental de la trigonométrie consiste en ce que les sinus des angles sont entr'eux dans le même rapport que les côtés opposés.

Le sinus d'un arc est une ligne tirée de l'extrémité de cet arc perpendiculairement sur le rayon ou le diamètre qui passe par

l'autre extrémité du même arc. Cette ligne est aussi le sinus de l'angle mesuré par l'arc. Ainsi, la perpendiculaire AP (*pl. LVI, fig.* 12, ou *pl. LV bis, fig.* 34), abaissée de l'extrémité de l'arc AB sur le rayon BC qui passe par l'autre extrémité B de cet arc, s'appelle le sinus de l'arc AB ou de l'angle ACB.

La partie BP du rayon, comprise entre le sinus et l'extrémité de l'arc, s'appelle sinus verse.

La partie BD de la perpendiculaire à l'extrémité du rayon, interceptée entre ce rayon BC et le rayon CA prolongé, s'appelle la tangente de l'arc AB ou de l'angle ACB.

La ligne CD, qui n'est autre chose que le rayon CA prolongé jusqu'à la tangente, s'appelle sécante de l'arc AB ou de l'angle ACB.

Les sinus des complémens sont appelés cosinus. Pour avoir en nombre la valeur des sinus, on prend le rayon pour l'unité, et on détermine la valeur des sinus, des tangentes, des sécantes, en parties du rayon.

Dans les tables des sinus, on conçoit le rayon comme divisé en 10,000,000,000 parties égales; on ne va pas plus loin pour déterminer la quantité de ces sinus et de ces tangentes. Cette supposition suffit pour assurer que les logarithmes des sinus des angles qu'on rencontre dans la pratique soient toujours positifs. Ainsi, comme le côté d'un hexagone sous-tend la sixième partie d'un cercle, et est égal au rayon, de même aussi le sinus de trente degrés est 5,000,000,000.

Puisque le rayon de tout cercle est divisé dans le même nombre de parties égales, il faut que les parties d'un petit rayon soient moindres que les parties d'un grand. C'est pourquoi les tables des sinus, dans lesquelles on trouve combien chaque sinus contient de parties à proportion du rayon, ne font pas connaître la grandeur absolue de ces sinus, mais seulement leur grandeur

relative, c'est-à-dire, le rapport qu'ils ont entr'eux: par exemple, quoique l'on trouve que le sinus d'un angle de 30 degrés soit de 5,000,000,000 parties, en supposant que le rayon en contienne 10,000,000,000, on ne connaît pas pour cela la grandeur réelle de ce sinus; mais on sait que le sinus de trente degrés est la moitié du sinus de l'angle droit, puisque le premier n'a que la moitié des parties qui forment le second. Il en est des sinus comme des arcs : on ne connaît pas la grandeur absolue des arcs par le nombre des degrés qu'ils contiennent; il faut en outre connaître la grandeur absolue de la circonférence.

Mais, quoiqu'on ne connaisse pas la grandeur absolue des sinus, cela n'empêche pas de trouver la grandeur absolue des côtés d'un triangle dont on connaît un côté et les angles; car, si dans un triangle on connaît deux angles et un côté, on trouvera les sinus des angles par les tables. Or, les sinus sont proportionnels aux côtés opposés aux angles; par conséquent, si le sinus de l'angle opposé au côté connu est le double de l'autre sinus, le côté connu sera aussi le double du côté cherché. Ainsi, si le côté connu est de cinquante toises, le côté qu'on cherche sera de vingt-cinq toises. Soit (*fig.* 33, *pl. LV bis*) le triangle CAP, dans lequel CA $= 15^m$, AP $= 8^m$, et soit le triangle semblable CDE, dans lequel CD $= 25^m$, on aura le côté DE $= \frac{DC \times AP}{AC} = \frac{25 \times 8}{15} = 13^m\ 33$. De même, si l'arc AB est connu, on aura la longueur de l'arc DG $= \frac{\text{arc AB} \times 25}{15}$. Il faut dire la même chose des tangentes et des sécantes. Ces réflexions suffisent pour faire connaître l'usage des sinus. On ne se sert plus guère des sinus proprement dits, des tangentes et des sécantes pour les calculs de la trigonométrie. On leur a substitué les logarithmes des nombres qui expriment les parties de ces lignes, ce qui facilite et simplifie beaucoup les calculs.

On remarquera (*pl. LVI, fig.* 13) que la tangente de l'arc BFA, plus grand qu'un droit, est la ligne BD qui est négative, par rapport aux tangentes des arcs du premier cadran BF. Le cosinus du même arc BFA est aussi négatif et égal à CP ou AQ; son sinus est AP qui reste positif; CD est sa sécante; FE sa cotangente, et CE sa cosécante.

Soit x un arc, et r le rayon du cercle dans lequel il est mesuré, on a les relations suivantes entre ses diverses lignes trigonométriques :

$$\text{Sin.}^2 x + \cos.^2 x = r^2 \qquad \text{Tang. } x = \frac{r \sin. x}{\cos. x}$$

$$\text{Sec. } x = \frac{r^2}{\cos. x} \qquad r^2 = \text{tang. } x \times \text{cotang. } x$$

Soient x et y, deux arcs différens mesurés dans le même cercle, on a :

$$r \sin. (x+y) = \sin. x \cos. y + \sin. y \cos. x$$

$$r \sin. (x-y) = \sin. x \cos. y - \sin. y \cos. x$$

$$r \cos. (x+y) = \cos. x \cos. y - \sin. x \sin. y$$

$$r \cos. (x-y) = \cos. x \cos. y + \sin. x \sin. y$$

$$\text{Sin. } x \cos. y = \tfrac{1}{2} r \left[\sin. (x+y) + \sin. (x-y) \right]$$

$$\text{Sin. } x \sin. y = - \tfrac{1}{2} r \left[\cos. (x+y) - \cos. (x-y) \right]$$

$$\text{Sin. } x + \sin. y = \frac{2}{r} \sin. \tfrac{1}{2} (x+y) \cos. \tfrac{1}{2} (x-y)$$

$$\text{Cos. } x + \cos. y = \frac{2}{r} \cos. \tfrac{1}{2} (x+y) - \cos. \tfrac{1}{2} (x-y)$$

$$\text{Sin. } 2x = \frac{2 \sin. x \cos. x}{r}$$

$$\text{Sin.} \tfrac{1}{2} x = \sqrt{2 r^2 - 2 r \cos. x}$$

$$\text{Tang. } (x+y) = \frac{r^2 (\text{tang. } x + \text{tang. } y)}{r^2 - \text{tang. } x \text{ tang. } y}$$

$$\text{Tang. } (x-y) = \frac{r^2 (\text{tang. } x - \text{tang. } y)}{r^2 + \text{tang. } x \text{ tang. } y}$$

$$\text{Tang. } x + \text{tang. } y = \frac{r^2 \sin. (x+y)}{\cos. x \cos. y}$$

$$\text{Tang. } x - \text{tang. } y = \frac{r^2 \sin. (x-y)}{\cos. x \cos. y}$$

$$\text{Sin. } x = \frac{r \text{ tang. } x}{\sqrt{r^2 + \text{tang.}^2 x}} \qquad \cos. x = \frac{r^2}{\sqrt{r^2 + \text{tang.}^2 x}}$$

L'arpentage est l'art de mesurer la superficie des terres, et d'en calculer le contenu.

La connaissance de l'arpentage est utile à tous les états.

L'arpentage peut être divisé en trois parties : la première consiste à prendre les mesures sur le terrain : c'est ce qu'on appelle arpenter.

La seconde, à mettre sur le papier les mesures et les observations : cette seconde partie s'exécute par le moyen du rapporteur, d'une échelle, etc.

La troisième, à réduire les différentes divisions, les différens enclos, etc., en triangles, en carrés, en parallélogammes, pour calculer leur contenu et leur surface.

Il s'est élevé une question relative à l'arpentage, qui peut ne paraître que curieuse, mais dont la solution peut être très-utile dans certains cas. Il s'agit de savoir si, dans la mesure d'un terrain incliné, on doit prendre sa superficie réelle, ou celle de sa base horizontale.

Il est, ce me semble, aisé de juger que c'est la base horizontale que l'arpenteur doit préférer. Ce n'est cependant pas la méthode suivie ordinairement, parce qu'on trouve communément plus aisé de mesurer la superficie que la base horizontale.

L'arpenteur doit prendre la méthode qui donne un produit de culture proportionnel à la mesure ; par conséquent, si le produit

d'un plan incliné était à celui de sa base horizontale, comme la superficie du premier est à celle du second, ce serait la superficie du terrain incliné qu'il faudrait mesurer; mais c'est ce qu'on ne peut assurer : car la difficulté de la culture sur un plan incliné, et les dégradations qu'éprouvent ces sortes de terrains, diminuent fortement l'avantage d'y pouvoir planter à des distances horizontales moins grandes; et cet avantage, s'il existe, n'est pas à beaucoup près dans la proportion dont je viens de parler. En effet, il faudrait qu'une superficie inclinée à soixante degrés, par exemple, produisît autant que la même superficie horizontale : ce qui n'est pas. Ainsi, en général, il vaut mieux mesurer seulement la base horizontale.

La mesure de la base horizontale est aussi plus exacte pour le but civil qui doit chercher le rapport des produits plutôt que celui des surfaces. L'autre mesure ne peut être pratiquée avec exactitude, surtout sur des terrains tortueux, sans une attention particulière et des soins minutieux, dont la plupart des arpenteurs ne sont pas susceptibles.

Je rapporterai ici l'extrait d'un mémoire sur l'arpentage des terrains inclinés, par M. Le Normant.

Les terrains inclinés présentent plus de difficulté que les terrains horizontaux. Beaucoup d'arpenteurs ne le soupçonnent même pas, et arpentent les terrains inclinés comme s'ils étaient horizontaux, s'imaginant que l'arpentage ne consiste qu'à connaître la surface d'un terrain, quelle que soit d'ailleurs sa position par rapport au plan horizontal : de là naissent plusieurs inconvéniens qui sont l'origine de beaucoup de procès. Les végétaux croissent tous verticalement, et il est prouvé qu'il ne peut pas croître un plus grand nombre de plantes sur un terrain incliné que sur sa projection dans le plan horizontal. D'un autre côté, si l'on arpente un terrain incliné de manière à en connaître la contenance

exacte sur ce plan ; et qu'ensuite, soit subitement, par quelque accident extraordinaire, soit à la longue, par l'écoulement des eaux, le terrain devienne horizontal ou moins incliné, le propriétaire ne pourra retrouver la contenance qu'en empiétant sur le terrain d'autrui ; ce qui est contre la justice, et ouvre la porte aux discussions. Ces raisons et une foule d'autres, qu'il serait aisé de déduire, ont fait sentir la nécessité de déterminer la contenance d'un terrain incliné, non par sa surface réelle, mais par sa projection sur le plan horizontal.

La grande difficulté pour déterminer la projection d'un terrain, consiste à connaître l'angle d'inclinaison que la totalité des lignes que l'on mesure, ou chacune de leurs parties, forme avec l'horizon. En effet, supposons que la ligne brisée ABCD (*pl. XXII, fig.* 5) représente la coupe du terrain dont je veux avoir la projection ED ; il est évident que si du point A je puis apercevoir le point D, je connaîtrai avec le graphomètre l'angle ADE, par conséquent, son sinus AE et son cosinus DE ; mais si, au lieu d'une seule station, je suis obligé d'en faire plusieurs, l'une en C, l'autre en B, et la troisième en A, je déterminerai d'abord de la même manière le cosinus GD de l'angle CDG, ensuite le cosinus HC de l'angle BCH, et enfin le cosinus IB de l'angle ABI : or, IB égale EF comme parallèles entre parallèles, HC égale FG par la même raison ; donc IB, plus HC, plus GD, égalent ED, et par conséquent je connaîtrai la ligne de projection par plusieurs opérations ou par une seule. La marche que nous venons d'indiquer est fondée sur la trigonométrie ; mais on peut ne pas l'employer. Nous allons faire connaître les moyens que nous lui substituons.

Pour déterminer l'angle d'inclinaison, je me sers du compas des champs qui est entre les mains de tous les arpenteurs ; mais

comme ces sortes de compas sont ordinairement mal construits, je vais décrire celui que j'ai fait faire, en y apportant une légère addition.

Ce compas, que la figure 6, planche XXII, représente, a les deux branches AB, BC en bois très-sec, unies par des charnières au point B, à la manière des compas ordinaires; il est ouvert à angle droit; l'extrémité AC de ses pointes est armée de deux bouts en fer, qui font avec les branches un angle de 135 degrés (ancienne division), afin que les pointes soient toujours perpendiculaires au terrain: chacune des deux branches a de longueur (1^m414); alors l'ouverture du compas est d'un double mètre; la verge de cuivre ou de fer EF, qui le fixe à l'ouverture prescrite, est divisée en 45 degrés de part et d'autre de son milieu, par des rayons qui partent du point D, qui est le centre de l'arc de cercle EGF; la petite plaque de fer D est solidement fixée à la tête du compas et à une des branches, de manière que, lorsque le compas est ouvert à angle droit, et qu'il est posé sur un plan horizontal, le prolongement de la verticale DG passe par le point B, centre de la tête du compas, et partage l'angle ABC en deux parties égales: cette plaque D porte une verge DG, à l'extrémité de laquelle est un plomb G qui maintient la verge dans une position toujours verticale; la verge DG est fendue pour laisser passer la traverse EF, afin qu'elle puisse marquer les degrés sur ses deux faces qui sont graduées: le tout se loge dans les rainures pratiquées dans les jambes du compas.

Si je pose mon compas ABC (*fig.* 7) sur un plan AC horizontal, la verticale BD, dirigée selon le fil aplomb, marquera o sur le limbe de cuivre ou sur la traverse; et réciproquement, lorsque le fil aplomb marquera o, j'en conclurai que le plan sur lequel le compas repose est horizontal. Si je place le même compas sur un plan incliné PC de 35 degrés sur l'horizon, la verticale QK,

dirigée selon le fil aplomb, marquera sur le limbe ou sur la traverse 35 degrés; car les deux angles LQK, PCA sont égaux comme ayant leurs côtés perpendiculaires : donc le fil aplomb indiquera toujours sur le limbe l'angle d'inclinaison du plan.

L'angle d'inclinaison étant connu, il reste à déterminer la longueur de la ligne PC. La table qui suit donne ces longueurs toutes calculées relativement à l'ouverture de l'angle d'inclinaison. A la seule inspection de la figure, on s'aperçoit que les lignes de projection sont d'autant plus longues que l'angle d'inclinaison est plus petit, et au contraire, d'autant plus courtes que l'angle d'inclinaison est plus grand; car les trois lignes GC, PC, IC sont égales, et leurs projections sont les lignes HC, EC, FC. L'ouverture du compas étant toujours la même, et égale à deux mètres, et la table indiquant quelle est la longueur qu'on doit prendre au lieu d'un mètre, en multipliant par deux le nombre donné par la table, on aura la longueur réduite pour chaque ouverture de compas. Cette table ne s'étend que depuis 1 jusqu'à 45 degrés, paree que l'angle ayant plus de 45 degrés, il n'est plus possible de se soutenir sur le terrain, et par conséquent de l'arpenter avec l'équerre.

TABLE des longueurs auxquelles se réduit un mètre dans la projection horizontale sous les divers angles d'inclinaison, depuis 1 degré jusqu'à 45 *inclusivement.* (On voit aisément que cette Table est celle des cosinus dont le rayon est 1 mètre.)

DEGRÉS	1 MÈTRE se réduit à	DEGRÉS	1 MÈTRE se réduit à	DEGRÉS	1 MÈTRE se réduit à
1	0,9998	16	0,9612	31	0,8571
2	0,9993	17	0,9563	32	0,8480
3	0,9986	18	0,9510	33	0,8386
4	0,9975	19	0,9455	34	0,8290
5	0,9961	20	0,9396	35	0,8191
6	0,9945	21	0,9335	36	0,8090
7	0,9925	22	0,9271	37	0,7986
8	0,9902	23	0,9205	38	0,7880
9	0,9876	24	0,9135	39	0,7771
10	0,9848	25	0,9083	40	0,7660
11	0,9816	26	0,8967	41	0,7547
12	0,9781	27	0,8910	42	0,7431
13	0,9743	28	0,8829	43	0,7313
14	0,9702	29	0,8746	44	0,7193
15	0,9659	30	0,8660	45	0,7071

Le compas des champs est un mauvais instrument pour mesurer les distances, parce que ses jambes sont sujettes à s'écarter plus qu'il ne faut, lorsqu'on pèse un peu sur sa tête; mais lorsqu'un arpenteur est bien exercé, il n'a pas à craindre de

grandes erreurs ; néanmoins, quoique l'opération soit plutôt faite au compas qu'à la chaîne, nous conseillons toujours d'employer cette dernière méthode, comme la plus sûre.

On voit que lorsqu'un terrain est incliné, il faut tracer la diagonale, abaisser les perpendiculaires avec l'équerre, comme nous l'avons fait pour les terrains horizontaux ; mais mesurez toutes ces lignes comme nous l'avons indiqué par la table ci-dessus : alors, quelle que soit la pente ou contrepente, on obtiendra toujours la ligne de projection, et l'on aura la contenance exacte projetée, pourvu toutefois que les lignes que l'on mesure soient celles qui, avec les lignes de projection dans le plan horizontal, forment les angles d'inclinaison : dans tout autre cas, on n'aurait pas la véritable projection. Nous pensons que cette observation suffit à tout homme sensé, et nous dispensera d'entrer dans de plus grands détails.

Il y a trois moyens de mesurer les hauteurs. On peut le faire géométriquement, trigonométriquement et par l'optique. Le premier moyen est le plus direct et demande peu d'apprêt, le second se fait avec le secours d'instrumens destinés à cet usage, et le troisième par les ombres.

Les instrumens dont on fait principalement usage pour mesurer les hauteurs, sont le quart de cercle, le graphomètre, etc.

Pour mesurer géométriquement une hauteur accessible, supposons qu'il sagisse de trouver la hauteur AB (*pl. XXIX, fig.* 1). Plantez un piquet B'D perpendiculairement à la surface de la terre, assez long pour monter à la hauteur de l'œil; étendez-vous ensuite par terre, les pieds contre le piquet; si les points BB' se trouvent dans la même ligne droite avec l'œil C, la longueur CA est égale à la hauteur AB. Si quelqu'autre point plus bas, comme F, se trouve dans la même ligne que le point B' et l'œil, approchez le piquet de l'objet; au contraire, si la ligne

menée de l'œil par le point F rencontre quelques points au-dessus de la hauteur cherchée, il faut éloigner le piquet jusqu'à ce que la ligne CB′ rase le vrai point que l'on demande. Alors, mesurant la distance de l'œil C au pied de l'objet A, on a la véritable hauteur cherchée, puisque CA = AB.

On peut encore opérer de la manière suivante : à la distance de 30 à 40 pieds ou même plus, plantez un piquet DE (*fig.* 2), et à la distance de ce piquet au point C, plantez-en un autre plus court, de manière que l'œil étant en F, les points EA puissent être dans la même ligne droite avec F ; mesurez la distance entre les deux piquets DC, et la distance entre le plus court piquet et l'objet HA, de même que la différence des hauteurs des piquets, E*o*. Aux lignes FH, DC, AH, cherchez une quatrième proportionnelle à laquelle on ajoutera la hauteur du plus court piquet FC, et la somme sera la hauteur cherchée AH.

On peut s'y prendre ainsi (*fig.* 3) : observez avec un graphomètre ou un quart de cercle l'angle CDA, en plaçant le rayon visuel DC bien horizontal ; mesurez DC que vous multiplierez par la tangente de l'angle CDA, le rayon étant supposé pris pour unité, et ajoutez au produit trouvé la hauteur CB, la somme donnera la hauteur cherchée AB.

Supposons qu'on ne puisse approcher du pied B de l'objet (*fig.* 4) ; faites deux observations en D et en F, qui donneront les angles D et F ; on aura AC = CD tang. ADC

$$\text{et } AC = CF \text{ tang. } AFC\text{, d'où } \frac{CD}{CF} = \frac{\text{tang. } AFC}{\text{tang. } ADC}$$

$$\text{d'où } CD = FD \times \frac{\text{tang. } AFC}{\text{tang.} AFC - \text{tang.} ADC};$$

ainsi, en mesurant DF, on connaîtra CD, et ensuite AC qui est égal à CD × tang. ADC ; on ajoutera CB, et on aura la hauteur cherchée.

Si l'on commet quelque erreur en prenant l'angle A (*fig.* 6), et que la véritable hauteur soit BC au lieu de BD résultant

d'une fausse observation, l'erreur commise CD = AB (tang. CAB — tang. DAB), quantité qui croît d'autant plus que AB est grand.

Ainsi, les erreurs de cette nature seront plus considérables dans une grande hauteur que dans une moindre, et plus l'angle sera petit, plus l'erreur sera grande.

Pour éviter ces inconvéniens, il faut choisir une station à distance moyenne, de manière que l'angle de hauteur DEB soit à peu près la moitié d'un angle droit.

Pour mesurer trigonométriquement une hauteur inaccessible BC, choisissez deux stations C, C′ (*pl. XXIX*, *fig.* 5), qui soient dans le même alignement que la hauteur AH cherchée, et à une distance CC′ l'une de l'autre, en sorte que l'angle ACB ne soit point trop petit, ni l'autre station C′ trop près de l'objet AB. Prenez avec un instrument convenable la quantité des angles ACB, AC′B, mesurez aussi l'intervalle CC′.

Alors, dans le triangle CAC′, on connaît l'angle C donné par l'observation, et l'angle C′, qui s'obtient en retranchant l'angle observé AC′B de deux angles droits; et on connaît, en outre, le côté CC′ qu'on mesurera. On pourra donc calculer le côté AC′ par les formules de trigonométrie; et on aura AB = AC′ sin. AC′B, ce qui fera connaître AB, et en ajoutant BH ou CD, la hauteur cherchée AH sera connue.

La PLANCHETTE est un instrument dont on se sert pour la levée des plans ou l'arpentage des terres, et avec lequel on a, sur le terrain même, le plan que l'on demande, sans être obligé de le construire à part.

La planchette représentée (*pl. LIV*, *fig.* 13) consiste en un parallélogramme de bois, long d'environ quinze pouces, et large de douze, entourré d'un châssis de bois, par le moyen duquel on attache une feuille de papier bien étendue, et, pour ainsi-

dire, bien collée sur la planchette ; de sorte que l'on peut tirer exactement dessus toutes les lignes dont on a besoin.

Sur chaque côté du châssis, et vers le bord intérieur, il y a des échelles de pouces subdivisées ; outre cela, on a projeté sur un côté les 360 degrés d'un cercle, en partant d'un centre de cuivre qui est au milieu de la planchette ; chaque degré est coupé en deux parties égales, et à chaque dixième degré sont marqués deux nombres, dont l'un exprime les degrés, et l'autre son complément à 360 degrés, afin de n'être pas obligé de faire la soustraction ; sur l'autre côté sont projetés les 180 degrés d'un demi-cercle, en partant d'un centre de cuivre qui est au milieu de la longueur de la table, et à un quart de sa largeur : chaque degré est divisé en deux, et l'on a marqué deux nombres à chaque 10e degré, c'est-à-dire, le degré avec son complément à 180 degrés.

D'un côté de la planchette est une boussole qui sert à placer l'instrument ; le tout est attaché à un genou, par un bâton à trois branches pour les soutenir ; on le fait tourner, ou bien on le fixe par le moyen d'une vis, suivant le besoin. Enfin, la planchette est accompagnée d'un index ; c'est une règle longue de seize pouces au moins, et large de deux, sur laquelle il y a ordinairement des échelles, etc. ; elle est accompagnée de deux pinnules placées perpendiculairement sur ses extrémités.

Pour prendre un angle avec la planchette, ou bien trouver la distance de deux endroits accessibles par une seule et même station (*fig.* 14). Supposons que DA, DB soient les côtés de l'angle cherché, ou bien que AB soit la distance que l'on souhaite de connaître ; placez l'instrument horizontalement le plus près de l'angle qu'il est possible, et prenez un point dans le papier ou la carte qui est sur la planchette, par exemple, le point *c* ; appliquez-y le bord de l'index, en le faisant tourner jusqu'à ce que vous aperceviez le point B par les pinnules ; la règle

étant dans cette situation, tirez le long de son bord la ligne *c*B indéfinie, faites tourner de la même manière l'index sur le même point, jusqu'à ce que vous aperceviez le point A à travers les pinules, et tirez la ligne droite *cd* indéfiniment : on a par cette méthode la grandeur de l'angle tracé sur le papier.

Mesurez, avec une chaîne, les lignes DA, DB, et prenant ces mêmes mesures sur une échelle, portez-les sur les côtés respectifs de l'angle tracé sur le papier ; supposons qu'elles s'étendent de *c* en *a* et de *c* en *b* ; de cette manière, *ca* et *cb* seront proportionnels aux côtés DA et DB sur le terrain.

Portez la distance *ab* sur la même échelle, et voyez quelle est sa largeur : l'étendue que vous trouverez sera la longueur de la ligne AB que l'on cherchait.

On peut trouver, avec la planchette, la distance de deux endroits inaccessibles : supposons que l'on veuille connaître la distance AB (*fig.* 15) : 1° après avoir choisi deux stations en C et en D, placez la planchette à la station D ; par les pinnules, visez aux points C, B, A, et tirez le long du bord de l'index les lignes *cd*, *db*, *da* ;

2° Mesurez la distance des stations CD, en la prenant sur une échelle, portez-la sur *cd* ;

3° Otant la planchette du point D, fixez-la en C, de manière que le point *c* réponde directement au-dessus de l'endroit C, et que, mettant ensuite l'index le long de la ligne *cd*, vous aperceviez, par les pinnules, la première station D ; l'instrument étant ainsi fixé, dirigez les pinnules aux points A, B, et tirez les lignes droites *ca*, *cb* ; enfin, trouvez sur l'échelle la longueur *ab*, elle marquera la distance AB que l'on demande.

On peut trouver, de la même manière, par deux stations, la distance d'un nombre quelconque de lieux proposés, et, par ce moyen, lever le plan d'une partie de pays.

Cet exemple suffit pour mettre à même de se servir de cet instrument.

Le grand inconvénient de la planchette est que le papier rend cet instrument impraticable dans un temps humide ou pluvieux; on s'aperçoit même que la rosée du matin ou du soir enfle ou gonfle considérablement le papier, et, par conséquent, qu'elle déjette l'ouvrage. Pour éviter cet inconvénient, on se sert du graphomètre pour mesurer les angles, et on lève seulement les détails à la planchette.

DU NIVELLEMENT.

Le niveau est un instrument propre à tirer une ligne parallèle à l'horizon, et à la continuer à volonté, ce qui sert à trouver la différence de hauteur de deux endroits, l'orsqu'il s'agit de conduire de l'eau de l'un à l'autre endroit, de dessécher des marais, de tracer des chemins, etc.

On a imaginé des instrumens de plusieurs espèces et de différentes matières pour perfectionner le nivellement; ils peuvent tous, pour la pratique, se réduire à ceux dont je vais parler.

Le niveau à bulle d'air est celui qui montre la ligne de niveau, par le moyen d'une bulle d'air enfermée avec quelque liqueur dans un tuyau de verre d'une grosseur et d'une longueur indéterminées, et dont les deux extrémités sont scellées hermétiquement, c'est-à-dire, fermées par la matière même du verre qu'on a fait pour cela chauffer au feu d'une lampe. Lorsque la bulle d'air vient se placer à une certaine marque pratiquée au milieu du tuyau, elle fait connaître que le plan sur lequel la machine est posée, est exactement de niveau; mais, lorsque ce plan n'est point de niveau, la bulle d'air s'élève vers une des extrémités. Ce tuyau de verre se place ordinairement

dans un autre tuyau de cuivre, qui a dans son milieu une ouverture par laquelle on observe la position et le mouvement de la bulle d'air. La liqueur dont le tuyau est rempli, est ordinairement ou de l'huile de tartre ou de l'eau seconde, parce que ces deux liqueurs ne sont sujettes ni à se geler, comme l'eau ordinaire, ni à la raréfaction et à la condensation, comme l'esprit de vin.

Il est facile de donner plus d'étendue à cet instrument, en l'adaptant à une petite lunette d'approche LD, dont l'axe doit être exactement parallèle à l'axe du tube AB (*pl. LI, fig.* 4).

Le tube et la lunette pourront avoir pour support une petite boule de cuivre P, enfermée dans deux hémisphères convenablement échancrés, le tout soutenu par un pied.

Ce niveau à bulle d'air a été perfectionné par M. de Chezy; il est fort en usage dans les opérations journalières relatives aux ponts et chaussées.

Le niveau d'Huyghens est composé d'un télescope en forme de cylindre, qui passe par une virole où il est arrêté par le milieu: cette virole a deux branches plates *bb* (*pl. LI, fig.* 1), l'une en haut, l'autre en bas; au bout de chacune de ces deux branches est attachée une petite pièce mouvante, en forme de pince, dans laquelle est arrêtée une soie assez forte, et passée en plusieurs doubles dans un anneau; l'un de ces anneaux sert à suspendre le télescope en équilibre dans la boîte 5 qui est remplie d'huile de lin, de noix, ou d'autres matières qui ne se figent pas aisément, afin de mieux arrêter les balancemens du poids et du télescope. Cet instrument est chargé de deux télescopes, fort près l'un de l'autre, exactement parallèles, et placés à contre sens l'un de l'autre, afin qu'on puisse voir des deux côtés, sans retourner le niveau. Au foyer de l'objectif de chaque télescope, il doit se trouver un petit cheveu tendu horizontalement, et qui puisse se lever et s'abaisser, suivant le besoin, par le moyen d'une petite

vis. Si le tube du télescope ne se trouve pas de niveau lorsqu'on le suspend, on y met au-dessus un anneau ou virole 4, et on l'y fait couler jusqu'à ce qu'il soit de niveau.

Ce niveau est embarrassant; on n'en fait plus usage.

Le niveau hydraulique me semble le meilleur pour les grandes opérations, et le niveau d'eau à simples pinules pour les opérations ordinaires. Je vais, d'après l'abbé Picard, donner l'explication de ces deux niveaux.

Il n'est que deux moyens donnés par la nature pour déterminer ce que l'on appelle le niveau, et ces deux uniques moyens sont la direction centripète que suivent les solides quand ils sont isolés et paisiblement livrés à leur seule gravitation, et l'équilibre hydrostatique que prennent les liquides dans leur libre et tranquille communication entre eux.

1° Dans l'équilibre hydrostatique, on a une infinité de points de niveau entre eux, qui sont donnés par la nature elle-même, et d'après lesquels on pourra géométriquement déterminer tels autres points de niveau que l'on voudra;

2° Dans la direction centripète des solides isolés et librement abandonnés à leur force gravitante, direction toujours et partout perpendiculaire à l'horizon sensible du point terrestre où elle existe, ou vers lequel elle est dirigée, on a partout une ligne droite, donnée et déterminée par la nature elle-même, à laquelle, d'après les principes et les règles de la géométrie, on assortit d'autres lignes idéales, par le moyen desquelles on fixe et on détermine le niveau apparent et le niveau vrai;

3° Puisqu'il n'y a réellement que deux moyens donnés par la nature, du moins qui soient connus, pour déterminer le niveau, il s'ensuit qu'il ne peut y avoir proprement que deux espèces d'instrumens propres à niveler, qui seront le niveau d'eau, et le niveau à perpendicule qui n'est guère employé.

Le niveau d'eau est le plus simple, le plus commode et peut-être le plus exact et le plus sûr de tous les instrumens que peut mettre en œuvre l'art scientifique du nivellement.

Ouvrage de la nature beaucoup plus que de l'art, il est comme indépendant de tout ce qu'il peut y avoir d'incertain, d'inexact, de fautif, de variable dans les opérations et dans les productions de l'industrie humaine.

C'est une double surface d'eau tranquille, en R et V (*fig.* 3); qui, conformément aux lois éternelles et invariables de la nature; quand rien ne gêne et ne trouble son action, se met toujours nécessairement en équilibre sur toutes ses colonnes, prend toujours indéfectiblement par elle-même un même niveau dans toute son étendue et sous toute position possible, et devient par-là une règle sûre et fixe, d'après laquelle l'industrie humaine pourra aisément chercher et trouver une suite quelconque d'autres points de niveau entre eux, quand cette connaissance pourra lui être utile.

Le niveau d'eau de Picard consiste dans un grand tube prismatique d'étain AMB (*fig.* 2); dans deux petits tubes prismatiques de verre BV et AR; dans deux pinnules de laiton *pp*, destinées à diriger le rayon visuel; dans une assez grande lunette d'approche *ab*, ordinaire ou achromatique; dans deux vis mobiles au sein de leur écrou G et E, et dans un pied, ou dans un support PDKN, sur lequel cet instrument puisse avoir facilement toutes les évolutions possibles.

Le tube prismatique AMB sera d'étain et de figure quadrangulaire, à angles droits; il aura trois pieds et demi, et au plus, quatre pieds de longueur sur un pouce et demi de diamètre, et dans ses deux extrémités, il sera recourbé à angle droit : la partie recourbée en A et en B au-dessous des tubes de verre, sera d'un volume un peu plus gros que celui de la partie AMB;

cette partie recourbée et plus volumineuse, aura environ deux pouces et demi de hauteur sur deux pouces de diamètre.

Tout l'art consistera à faire en sorte que la lunette, les pinnules et les deux surfaces aqueuses R et V soient toujours bien exactement, quand on nivelle avec cet instrument, dans une même direction précise :

1° Si le rayon visuel que dirige l'intersection des fils en croix dans la lunette, et l'autre rayon visuel que dirige l'intersection des fils en croix dans l'une et dans l'autre pinnule, aboutissent toujours à une même hauteur sur le carton qui sert de mire, à 10 toises, à 20 toises, à 50 toises, à 100 toises de distance, et ainsi du reste, il est clair que les pinnules et la lunette ont, sur leur commun support, la position précise quelles doivent avoir, et que la ligne menée par l'axe de la lunette est parfaitement parallèle à la ligne menée par les intersections des filets des pinnules, du moins relativement à la direction horizontale, dont il est ici uniquement question ;

2° Si le rayon visuel que dirige l'intersection des fils en croix dans la lunette, et l'autre rayon visuel que dirige l'intersection des fils en croix dans l'une et dans l'autre pinnule, n'aboutissent pas toujours à une même hauteur sur le carton où l'on vise successivement à différentes distances, il est clair que la lunette et les pinnules, au lieu d'avoir une direction parallèle, ont une direction divergente et antiparallèle, qu'il faudra corriger et rectifier.

Or, pour faire cette correction ou cette rectification, il ne s'agira que d'élever ou d'abaisser convenablement une des extrémités de la lunette, celle qui porte l'oculaire, jusqu'à ce que l'on trouve qu'à toute distance où l'œil peut atteindre, le rayon visuel dirigé par la lunette, et le rayon visuel dirigé par les pinnules, atteignent toujours et partout, à une même hauteur précise sur le carton qui sert de mire.

3° Quand on aura ainsi suffisamment vérifié et rectifié cet instrument, et qu'on aura enfin bien déterminé la position respective que doit avoir chaque pinnule avec la partie de la lunette à laquelle elle est unie, il faudra rendre stable en telle manière qu'on voudra, cette position respective.

D'après l'idée qu'on vient de se former du niveau d'eau, il est facile de concevoir comment, après l'avoir bien fixé et bien établi sur son pied dans une station, on pourra aisément, sans qu'on en déplace aucunement le pied, le tourner successivement vers tout autre point quelconque du même horizon sensible, vers le nord ou vers le midi, vers l'orient ou vers l'occident.

1° Pour pointer ce niveau d'un terme à un autre terme, sans en déplacer aucunement le pied, il ne s'agira que de faire tourner convenablement le cylindre concave PD autour du cylindre solide C*d* qu'il embrasse et qu'il renferme, en desserrant un peu la vis H, s'il le faut, pour la resserrer de même ensuite, quand l'instrument aura pris la position nouvelle qu'on avait en vue (*fig.* 2).

2° Il est visible que, par ce moyen, l'horizon sensible de l'œil étant supposé en M à égale distance des deux surfaces aqueuses R et V, on pourra aisément trouver le niveau de tout point quelconque que l'on voudra déterminer, au levant ou au couchant, au nord ou au midi, au-dessus ou au-dessous de ce même horizon sensible MVX de l'œil, sans avoir aucunement besoin de déplacer le pied de l'instrument, ce qui est d'un avantage inestimable dans les opérations du nivellement, surtout dans celles où l'on place le niveau à égale distance, à peu près, entre les deux termes à niveler; par exemple, entre les deux termes B et C (*fig.* 9), ou entre les deux termes C et D (*fig.* 10).

3° Quand on aura pointé le niveau d'eau vers un nouveau terme, il ne s'agira plus que de mettre exactement les deux

pinnules à la hauteur précise des deux surfaces aqueuses, ce qui sera l'ouvrage d'un seul instant.

On sent aisément qu'il est possible, qu'il est même facile de rendre plus simple le niveau d'eau; mais en le rendant moins précis, moins étendu, moins parfait. Par exemple, pour vous procurer, à très-peu de frais, un niveau d'eau aisé à transporter, et qui vous sera très-utile dans une foule de petits nivellemens :

1° Faites construire un simple tube recourbé AB de fer-blanc (*pl. LI*, *fig.* 2 et 3) de figure cylindrique, d'environ trois pieds de longueur sur dix lignes de diamètre, et faites-y souder en MP un autre tube cylindrique de fer-blanc, par où vous puissiez poser cet instrument, sur un pied tel que IKCN, ou sur un simple bâton pointu PN, armé d'un petit crochet de fer par le bas, que vous planterez à peu près verticalement, en le pressant avec le talon, dans le terrain que vous aurez pris pour station;

2° Dans la partie recourbée du tube AB, posez et mastiquez deux petits tubes cylindriques de verre, ouverts par le haut et par le bas, d'environ deux pouces et demi de hauteur, sur huit ou dix lignes de diamètre.

En versant de l'eau par l'un de ces deux tubes, vous verrez cette eau s'élever de part et d'autre jusque vers le milieu de leur hauteur, où vous aurez deux surfaces aqueuses de niveau entre elles.

Par ce moyen, votre rayon visuel, dirigé sur les deux surfaces aqueuses, vous donnera assez exactement, d'une station à l'autre, dans des petites distances, le niveau apparent, d'où il vous sera facile de déduire le niveau vrai; et, en aidant votre vue, s'il le faut, par une bonne lorgnette d'opéra, surtout par une de celles qui sont achromatiques ou à triple objectif, vous pourrez encore tirer un plus grand parti ou faire un usage un peu plus étendu de ce niveau d'eau à simples pinnules.

Niveler, c'est trouver avec un instrument deux points également distans du centre de la terre ; et l'objet du nivellement est de savoir précisément de combien un point est élevé au-dessus, ou abaissé au-dessous d'un autre point déterminé.

Il y a deux sortes de niveau, le vrai et l'apparent.

Le vrai niveau est une ligne courbe, puisqu'elle parcourt une partie de la superficie du globe terrestre, et que tous les points de son étendue sont également éloignés du centre de la terre.

Le niveau apparent est une ligne droite qui doit être corrigée sur le vrai niveau. Je donne une table ci-après des corrections à faire suivant les distances.

On évite l'obligation de corriger le niveau apparent sur le vrai niveau, en se retournant d'équerre sur les deux termes d'un nivellement, et c'est ce qu'on appelle un coup de niveau compris entre deux stations. On donne rarement des coups de niveau de 300 toises de longueur d'une seule opération ; la portée de la vue est trop faible pour s'étendre si loin, à moins qu'on applique au niveau une lunette à longue vue.

TABLE des haussemens du niveau apparent par-dessus le vrai, jusqu'à la distance de 4000 toises (7796ᵐ 145).

DISTANCES.	HAUSSEMENS.			
TOISES.	PIEDS.	POUCES.	LIGNES.	MÈTRE, MILLIMÈTRE.
50	0	0	0 $\frac{1}{3}$	0, 001
100	0	0	1 $\frac{1}{3}$	0, 003
150	0	0	3	0, 007
200	0	0	5 $\frac{1}{3}$	0, 012
250	0	0	8 $\frac{1}{3}$	0, 019
300	0	1	0	0, 027
350	0	1	4 $\frac{3}{4}$	0, 037
400	0	1	9 $\frac{1}{3}$	0, 048
450	0	2	3	0, 061
500	0	2	9	0, 074
550	0	3	6	0, 095
600	0	4	0	0, 108
650	0	4	8	0, 126
700	0	5	4	0, 144
750	0	6	3	0, 169
800	0	7	1	0, 191
850	0	7	11 $\frac{1}{2}$	0, 215
900	0	8	11	0, 242
950	0	10	0	0, 271
1000	0	11	0	0, 298
1250	1	5	2 $\frac{1}{2}$	0, 466
1500	2	0	9	0, 670
1750	2	9	8 $\frac{1}{2}$	0, 913
2000	3	8	0	1, 192
2500	5	8	9	1, 861
3000	8	3	0	2, 680
3500	11	2	9	3, 647
4000	14	8	0	4, 765

Dans cette table, la première colonne marque en toises, les distances entre la station où l'on fait le nivellement, et le lieu où l'on pointe le niveau.

Les autres colonnes contiennent les pieds, pouces, lignes, ou leurs réductions en mètres et millimètres, dont le niveau apparent est plus élevé que le vrai, pour les distances qui sont désignées dans la première colonne : en sorte que l'on doit abaisser le niveau apparent de la quantité de pieds, pouces, lignes, ou mètres et millimètres des colonnes suivantes, d'après les distances qui leur sont correspondantes, pour avoir le vrai niveau.

La règle qui sert à faire trouver les haussemens du niveau apparent par-dessus le vrai, est de diviser le carré de la distance par le diamètre de la terre, qui, selon la mesure de M. Picard, est de 6,538,594 toises ; et c'est pour cette raison que les haussemens du niveau apparent sont entr'eux comme les carrés des distances, ainsi qu'on peut le voir dans la table précédente.

Le calcul est aisé, puisque, pour trouver ces haussemens, il ne faut que diviser le carré de la première distance, et le carré de la seconde par le diamètre de la terre, auquel on donne, comme nous venons de le voir, 6,538,594 toises, et qui en a 1,375 de plus sous Paris.

Mais puisque les diamètres de la terre, qui font ici la fonction de diviseurs, quelle qu'en soit la grandeur, sont égaux pour l'une et pour l'autre distance, il est clair que les deux quotients seront entr'eux comme les dividendes, et que l'on peut s'épargner la peine de faire la division.

Tout le calcul se réduira donc à élever à son carré la première distance que nous supposerons de 300 toises, à élever de même à son carré la première distance plus grande, que nous supposerons de 1000 toises, et à comparer entr'eux les carrés 90,000 et 1,000,000, qui seront entr'eux, par la réduction, comme 9 est à 100, et environ comme 1 est à 11.

Il y a deux sortes de nivellement, le simple et le composé : le nivellement simple est celui qui se fait d'un lieu peu éloigné d'un autre, et d'une seule opération.

Le nivellement composé s'entend de celui qui demande plusieurs opérations de suite dans une distance considérable. Je vais extraire ce que j'ai à dire pour l'une et l'autre de ces opérations, du Traité du Nivellement de M. Picard. Ceux qui voudront un traité plus complet et plus savant, pourront se procurer le Traité de Nivellement de M. Puissant.

Dans le nivellement simple, on cherche à connaître la hauteur respective de deux points donnés sur la surface, ou auprès de la surface terrestre, pour juger s'ils sont de niveau entr'eux, ou s'ils ne le sont pas; pour juger de combien l'un est plus élevé que l'autre au-dessus du vrai niveau, c'est-à-dire, au-dessus d'un lac parfaitement tranquille, dont la surface aboutirait précisément à celui de ces deux points qui est le plus bas, et s'étendrait au loin au-dessous de celui qui est le plus haut.

Il faut remarquer ici qu'étant donnés deux points à niveler, le niveau peut avoir une triple position, différente à l'égard de ces deux points; car il peut ou être placé successivement sur l'un et sur l'autre, ou être placé entre l'un et l'autre à égale distance de chacun, ou être placé encore entre l'un et l'autre, mais à inégale distance de l'un et de l'autre.

De ces trois positions du niveau, à l'égard des deux points à niveler, résultent comme trois méthodes de nivellement, dont la première, savoir : celle où l'instrument est successivement placé sur l'un et sur l'autre terme, et où les stations et les termes du nivellement ne sont qu'une même chose, est à-la-fois et la plus simple et la plus sûre, et c'est à celle-là que l'on peut réduire, à raison de sa simplicité et de sa sûreté, toutes les principales opérations du nivellement composé.

Les points B, D (*fig.* 6, 7 et 8, *pl. LI*) sont les termes du nivellement. Les extrémités G, H de la ligne GH sont deux points dans le vrai niveau aux stations B, D; c'est-à-dire, au-dessus ou

au dessous des termes du nivellement. Par l'un des termes D soit mené DE, parallèle à GH, jusqu'au point E à la station de l'autre terme ; il est évident que les points D et E seront aussi dans le vrai niveau ; maintenant si la ligne GH que l'on a établie dans le vrai niveau passe entre ces termes, comme dans la *fig.* 6, où GH est au-dessus de B et au-dessous de D, la somme des lignes BG, DH sera la différence du niveau des termes proposés. Mais si les termes B, D, sont tous deux au-dessous ou au-dessus de la ligne GH, comme dans les *fig.* 7 *et* 8, la différence des distances BG, DH entre les termes et la ligne GH, sera la différence des termes proposés à niveler.

Problème premier. Faire un nivellement simple, en plaçant successivement le niveau sur l'un et sur l'autre terme du nivellement (*fig.* 9).

Etant donnés deux termes D et B à niveler, on placera successivement le niveau d'eau, ou le niveau à perpendicule, si la chose est possible, sur chacun de ces deux termes, et sur le terme opposé à celui où l'on nivelle, on fera élever successivement le jalon et la mire BK et AR.

La différence des deux hauteurs AR et BD, au-dessous de la ligne du nivellement RD, sera leur différence du niveau vrai; et si la ligne BD est plus haute exactement de 26 pouces que la ligne AR, le point B sera exactement de 26 pouces au-dessous du niveau du point A.

1° Dans cette première méthode, ou dans le nivellement réciproque, on n'a besoin, pour avoir la hauteur relative des deux termes à niveler, ni de mesurer la distance des termes A et B, ni de s'assurer de la justesse de l'instrument NM. La raison en est, qu'ici les stations et les termes du nivellement n'étant qu'une même chose, les distances des termes A et B sont nécessairement égales; et que dans les distances égales AB et BA, le

haussement du niveau apparent, ainsi que l'erreur de l'instrument, ajoutent ou retranchent des quantités égales aux hauteurs trouvées AR et BD, ce qui ne change aucunement l'égalité ou la différence de ces deux hauteurs.

Par exemple, supposons que l'instrument MN baisse la mire de 7 pouces sur le jalon BD; étant placé ensuite en BD, il baissera également la mire de 7 pouces, sur le jalon AR et BD dont la différence, si ces quantités ne sont pas égales, donne la différence du niveau que l'on avait à chercher et à trouver.

On peut dire la même chose du niveau apparent : ce qu'il donne d'abord de trop en hauteur au jalon BD, il le donne de même ensuite au jalon AR, et le même différence de hauteur subsiste.

2° On voit ici que cette méthode n'entraîne aucune correction à faire d'après le nivellement, dans les résultats qui en dérivent; et c'est ce qui doit principalement la faire préférer à toute autre, surtout dans le nivellement composé, où il est si facile de l'admettre, et où il est si important d'éviter la complication des choses et des idées.

Problème deuxième. Faire un nivellement simple, en supposant le niveau placé à égale distance des deux termes à niveler.

Dans le nivellement simple, quand il n'est pas possible de placer successivement le niveau sur les deux termes, on pourra chercher à le placer exactement à égale distance de l'un et de l'autre terme. Dans ce cas, après que l'on se sera bien assuré de cette égalité de distance entre l'un et l'autre terme, le nivellement deviendra tout aussi facile et tout aussi peu compliqué que dans le cas précédent.

1° Etant donnés deux termes B et C à niveler, et le niveau étant placé en AR (*fig.* 9) à égale distance de l'un et de l'autre, il est indifférent que les deux lignes de visée, menées de la

station où est le niveau, soient dans un même plan vertical, et ne fassent que comme une même ligne droite ; ou que ces deux lignes RD et RE, dirigées l'une vers le couchant, par exemple, et l'autre vers le nord-est, ou vers le nord-ouest, fassent entre elles un angle quelconque, aigu ou obtus, dont la station R sera le sommet.

2° Etant donnés deux termes B et C à niveler, et le niveau étant placé à égale distance de l'un et de l'autre, en telle sorte que les lignes RE et RD, si elles ne font pas une même ligne droite, fassent l'angle d'un triangle isoscèle quelconque, il est indifférent que le niveau soit juste ou qu'il ne le soit pas.

Problème troisième. Faire un nivellement simple, en supposant le niveau placé à inégale distance des termes à niveler.

Dans le nivellement simple, il arrive très-fréquemment que le niveau ne peut être placé, ni sur les deux termes à niveler, ni à égale distance de ces deux termes; alors on chosit, à inégale distance de ces deux termes, la station la plus commode pour ce double nivellement.

Dans ce cas, il faudra connaître exactement la distance interceptée entre la station où l'on nivelle, et l'un et l'autre terme du nivellement, pour que l'on puisse faire ensuite à loisir et à tête reposée, après le nivellement fini, sur chaque terme du nivellement, les corrections géométriques qu'exige nécessairement l'inégal haussement du niveau apparent dans les distances inégales; et dans ces mêmes distances inégales, l'inégale erreur de l'instrument, si l'instrument n'est pas parfaitement juste. (Ces corrections ne sont utiles que lorsqu'on veut avoir dans l'opération une grande précision.) Quand il s'agira de faire quelque grand nivellement de cette dernière espèce, il sera de la plus grande importance, pour simplifier les opérations, de ne se servir que d'un niveau parfaitement vérifié et rectifié.

Quand le niveau est parfaitement juste et exact, il n'y a plus d'autre correction à faire dans les hauteurs trouvées sur les jalons, que celle qu'exige l'inégal haussement du niveau apparent, relativement à l'inégale distance des termes qu'on vient de niveler.

Supposons qu'on voulût faire un grand nivellement composé de A en F, par exemple (*fig.* 10, *pl. LI*).

Le nivellement composé n'est autre chose qu'une suite de nivellemens simples, tous liés entr'eux depuis le premier jusqu'au dernier.

Je vais indiquer les connaissances et les opérations préliminaires qui sont nécessaires pour parvenir à bien faire ce nivellement.

L'entreprise d'un grand nivellement composé exige nécessairement, de la part de celui qui en sera chargé en chef, certaines connaissances, instructions et opérations préparatoires, dont nous allons donner une idée succincte. L'ingénieur qui est chargé de l'entreprise, doit d'abord la considérer dans ses préparatifs.

1° Il faudra qu'il parcoure, qu'il étudie par lui-même tout le terrain à niveler, depuis le premier terme A jusqu'au dernier F, afin qu'il y choisisse et qu'il y détermine les points A, B, C, D, E, F, qu'il trouvera les plus propres à lui servir de stations, et à lier le premier terme au dernier.

2° Il faudra encore que sur ces points bien choisis et bien déterminés, qu'il aura pris, autant que la chose est possible, dans la ligne la plus courte par où l'on puisse aller en nivelant du premier au dernier terme, il fasse planter de gros piquets de 3 ou 4 pieds de longueur, qui ne soient saillans que de quelques pouces hors de terre, tels qu'on puisse aisément les retrouver, et qu'on ne puisse que fort difficilement les arracher.

L'alignement de ces piquets, que l'on nomme repères, et qui sont destinés ici à fixer et à faire retrouver, au besoin, les stations du nivellement, sera assez souvent à angle saillans et ren-

trans, suivant l'exigence du terrain à niveler; et la distance de l'un à l'autre angle sera communément d'environ cinq ou six cents toises, au moins, pour ne pas trop multiplier les stations, et au plus, de mille ou douze cents toises, pour éviter l'inconvénient ou le danger des réfractions.

3° Il faudra enfin qu'il soit muni d'un bon niveau, bien vérifié et bien rectifié, pour éviter la complication des corrections à faire quand le nivellement n'est pas réciproque; qu'il soit muni d'un bon graphomètre, pour mesurer géométriquement la distance d'une station à l'autre, quand cette distance ne peut pas être mesurée avec la perche ou avec la chaîne; et qu'il ait sous ses ordres un nombre suffisant d'aides intelligens, pour concourir avec lui au succès de toute l'opération.

Tout étant ainsi préparé et disposé, on procédera au nivellement, en plaçant d'abord le niveau sur la première station A, d'où l'on nivellera la seconde station B, en plaçant ensuite le même niveau sur la seconde station B, d'où l'on nivellera et la première A et la troisième C, et ainsi de suite, jusqu'à la dernière station F; ce qui réduit tout le nivellement composé à une suite liée de nivellemens réciproques, et ce qui revient, comme on le voit, à garder la marche alternative entre le niveau et le jalon, pendant tout le nivellement.

Il faudra, à chaque station, avoir un très-grand soin de bien établir et de bien caler le pied du niveau, afin qu'il soit et qu'il reste bien immobile, pendant que l'on nivelle d'une station à l'autre; et pour cela, on emploiera, s'il le faut, la pioche, la pelle, et la masse pour unir ou pour affermir le terrain; on y plantera même, en cas de besoin, des piquets propres à servir de points d'appui; s'il est nécessaire, on emploiera le marteau pour concasser un peu la pierre ou le roc, et pour y former un point d'appui convenable.

Quand une même station, D par exemple, sert pour deux nivellemens successifs de D en C et de D en E, si on nivelle avec le niveau d'eau, il n'y aura rien à changer dans la position de ce niveau, que l'on se bornera à faire tourner convenablement sur lui-même.

Dans chaque station particulière du nivellement composé, laquelle fait ici en même temps la fonction de terme, il y aura trois choses à faire, qui consisteront :

A mesurer exactement la distance d'une station à l'autre, non pour faire des corrections sur les résultats du nivellement, qui n'en auront ici aucun besoin, mais pour conserver une idée exacte de tout le terrain nivelé ;

A prendre exactement la hauteur respective de chaque station, au-desssus et au-dessous de la ligne du nivellement actuel ;

A tenir un registre exact, à double colonne, de ces distances et de ces hauteurs, après chaque nivellemeut particulier, en telle sorte, que chaque colonne de ce registre ait toujours un terme commun avec l'autre colonne, ou que la hauteur d'une station, après avoir été écrite dans la première colonne, soit toujours écrite, immédiatement après, dans la seconde colonne.

Parlons encore d'un autre grand nivellement composé, de A en R par exemple, à travers d'assez hautes montagnes (*fig.* 5, *pl. LI*).

Après qu'on aura bien choisi et bien déterminé les différentes stations A, B, C, D, E, F, R, où l'on pourra successivement placer le niveau d'eau, ce second nivellement composé se réduira, ainsi que le précédent, à une suite liée des nivellemens réciproques de A en B et de B en A, de B en C et de C en B, ainsi du reste ; et il s'effectuera précisément de la même manière.

Dans un grand nivellement composé, il arrive quelquefois qu'une station nécessaire B, que l'on ne peut se dispenser de choisir, se trouve trop élevée au-dessus d'un autre station né-

cessaire A, pour que l'on puisse élever sur celle-ci des jalons qui atteignent à l'horizon sensible *ba* de celle-là ; dans ce cas particulier pour effectuer le nivellement,

1° On pourra chercher, au voisinage de la station A, plus ou moins loin vers le nord ou vers le midi, vers le levant ou vers le couchant, quelqu'autre station plus élevée, que l'on puisse substituer à celle-ci, après avoir cherché et déterminé exactement leur différence de niveau vrai. Quelque haute éminence, une terrasse ou un belvéder de quelque château fort élevé, pourront devenir cette station substituée, d'où il faudra que l'on puisse voir la station B.

Par ce moyen, en plaçant successivement et le niveau et le jalon sur la station que l'on substituera à la station A, on réduira cette partie du nivellement à un nivellement simple réciproque ; et si la station substituée se trouvait encore trop basse, on pourrait y placer une grande et forte échelle de jardinier, dont le plus haut échelon servirait de support au jalon, et même au niveau d'eau. Il est clair qu'on pourra dire la même chose de toute station semblablement située : par exemple, de la station D, par rapport à la station C ou E ;

2° En supposant que cette double ressource manque ou soit insuffisante, on pourra tenter de niveler à parties brisées, par le moyen d'un niveau d'eau à simples pinnules, tout l'espace A*m*B, en tenant un registre exact, après chaque coup de niveau particulier, de la quantité dont on monte ou dont on descend, en passant successivement d'une petite distance à une autre.

3° Au défaut de toutes ces ressources, on pourra, par le moyen d'un bon graphomètre, et d'après la règle géométrique, mesurer le triangle *avb*, dans lequel on cherchera d'abord la distance ou la base *vb*.

Cette base étant bien connue, on mesurera, avec le graphomètre *v*, l'angle *avb* intercepté entre la base *vb* et le côté *va*, qui est le perpendiculaire à l'horizon du point *v*; on mesurera de même l'angle *abv* intercepté entre la base *vb* et le niveau apparent *ba*, qu'il faudra prendre ici avec un instrument parfaitement vérifié et rectifié; après quoi, dans le triangle *avb*, on connaîtra géométriquement les trois côtés. La mesure du second angle *abv* n'est utile que pour vérification, attendu que la connaissance de l'hypothénuse *bv* et de l'angle aigu *v*, suffit pour le résoudre entièrement.

On connaîtra, par conséquent, la hauteur A*va*, qui sera la différence de niveau vrai, entre la station A et la station B, quand on oura retranché de cette hauteur A*va*, ce qu'y met de trop le haussement du niveau apparent *ba*, à la distance connue qu'il y a de *b* en *a*.

Problème quatrième. Trouver de combien le point A d'une rivière est plus haut ou plus bas que le point R d'une autre rivière, et déterminer les points où pourrait être fait un canal de communication entre les deux points A et R de ces deux rivières.

Solution. Nous supposons ici que les deux rivières A et R n'ont rien de commun avec celles du nivellement précédent, non plus que le terrain qui se trouve situé entre l'une et l'autre (*pl. LI, fig.* 5).

1° S'il ne s'agissait ici que de chercher et de trouver la différence de niveau entre les deux points donnés A et R, on opérerait, dans ce troisième nivellement composé, précisément comme l'on a opéré dans les deux précédens, c'est-à-dire en prenant d'abord, dans la route la plus courte et la plus commode, les différentes stations qui doivent lier le premier terme au dernier, et qui vraisemblablement ne seront pas toujours celles où doit être tracé et placé le canal, en réduisant ensuite toutes les opérations successives du nivellement, à une suite liée de nivellemens réci-

proques, et en tenant toujours un registre exact de chaque nivellement particulier.

Mais, comme il s'agit ici de faire un grand canal d'arrosage ou de navigation, par où l'eau de l'une de ces deux rivières puisse avoir son libre écoulement dans l'autre, et qu'il est possible qu'il n'y ait guère d'autre différence de niveau entre les deux points donnés A et R de ces deux rivières, que celle qui est indispensablement nécessaire pour l'écoulement des eaux, il est clair que ce troisième nivellement doit exiger, de la part de celui qui en sera chargé en chef, quelques attentions et quelques opérations particulières, dont il est à propos de donner au moins une idée générale.

Il faudra d'abord qu'il fasse planter de forts gros piquets, à fleur d'eau, sur les deux points A et R des deux rivières, où doit commencer et où doit finir le canal projeté; et qu'il trouve préalablement, s'il le faut, par le moyen d'un nivellement préliminaire, l'exacte différence du niveau entre ces deux points, pour qu'il puisse décider, avant toute autre chose, si l'entreprise est possible, ou si elle ne l'est pas, en faisant attention que le libre et facile écoulement de l'eau dans un grand canal, abstraction faite des sauts et des chutes, exige environ un pied de pente continue, sur mille toises d'étendue en ligne droite ou en ligne anguleuse et sinueuse, d'un terme à l'autre.

Il faudra ensuite qu'il se munisse d'un bon niveau d'eau à simple pinnule ou à bule d'air; et que, ce niveau en main, il parcoure et il examine fort attentivement tout le terrain qui se trouve intercepté entre les points A et R, pour y déterminer en gros la ligne droite ou anguleuse AGHIKLOPQR, sur laquelle doit être creusé ou construit le canal projeté, en ménageant, avec la plus grande économie, si la chose est nécessaire, d'une station à l'autre, la pente successive qu'il y aura à distribuer.

Il faudra encore qu'en traçant l'alignement successif du canal dans tous ses angles saillans et rentrans, il lève assez exactement le plan du terrain sur lequel doit passer ce canal, afin qu'il puisse y marquer les endroits où le canal peut exiger des coupures, pour lui donner passage, et des chaussées pour l'élever ou pour le fortifier.

Il faudra enfin, si la chose demande une plus grande précision, qu'après avoir déterminé en gros tous ces objets, il recommence avec un niveau plus étendu et plus parfait, à niveler exactement toutes les stations AG et GA, GH et HG, et ainsi de suite, par la raison que, jusqu'à présent, il n'a encore pris qu'en gros le niveau relatif de ces différentes stations, et que souvent il est de la plus grande importance d'avoir ce niveau relatif dans une précision parfaite.

Il est bon de savoir comment on trace le profil d'un nivellement composé. Cette opération, qui est principalement la rectification de la ligne anguleuse de nivellement, consiste à placer et à dessiner au-dessus et au-dessous d'une même ligne droite et indéfinie, que l'on supposera être une vraie ligne du niveau, toutes les différentes stations d'un même nivellement, avec les distances et les hauteurs respectives non-seulement de ces stations, mais encore de tous les terrains qui se trouvent interceptés entr'elles, ce qui n'exige guère d'autre connaissance scientifique que celle qui a pour objet la ligne des parties égales ou proportionnelles, par le moyen de laquelle on réduit les figures géométriques du grand au petit.

Nous allons ajouter quelques principes et quelques observations extraites du *Traité complet sur la Théorie et la Pratique du nivellement*, *par* M. Fabre.

Sur la surface de la terre, le niveau vrai est marqué par la superficie de l'eau et des autres fluides dans un état d'inertie et de stagnation.

Si de deux lignes qui se coupent à angles droits, l'une est de niveau ou verticale, l'autre sera d'aplomb ou de niveau respectivement.

Si deux lignes partant du même point, s'élèvent ou s'abaissent, sous des angles égaux par rapport à la ligne du niveau apparent partant de ce point, à des distances égales, ces deux lignes seront également élevées au-dessus ou abaissées au-dessous du niveau vrai.

La table de Picard, indiquée ci-dessus, s'appliquerait à tous les cas, si la terre était parfaitement sphérique. Mais la forme du globe étant elliptique, aplatie vers les pôles et renflée vers l'équateur, une table de haussement du niveau apparent ne peut pas être généralisée.

En se bornant à de petites distances et qui n'excèdent pas 600 mètres, on peut, sans crainte d'erreurs, se servir de la table suivante.

DISTANCES EN MÈTRES.	HAUSSEMENS du niveau apparent sur le vrai niveau	ABAISSEMENT causé par la réfraction.	EXCÈS du niveau apparent au-dessus du niveau vrai, eu égard à l'abaissement causé par la réfraction.
m	m	m	m
100	0, 00078	0, 0001	0, 00068
200	0, 00312	0, 0005	0, 00262
300	0, 00702	0, 0011	0, 00592
400	0, 01248	0, 0020	0, 01048
500	0, 01950	0, 0031	0, 01640
600	0, 02808	0, 0045	0, 02358

Cette table suffit à tous les besoins de la pratique, attendu qu'on ne peut guère donner, avec précision, un coup de niveau à une distance plus grande que 600 mètres.

Si la suite d'un nivellement conduit jusqu'au bord d'un lac ou d'un étang à traverser, on doit rapporter le nivellement à la surface des eaux, et le reprendre à l'autre bord, en partant de cette même ligne; ou, pour plus de sûreté, établir sur chaque bord un repère immuable, et rapporter la superficie des eaux au même moment. Cette précaution est indispensable sur le bord d'une mer où la marée existe.

Une rivière est navigable, à la voile, en remontant, lorsque sa pente n'excède pas $0^m,0947$ sur 195 mètres de l'ongueur (3 pouces 6 lignes sur 100 toises). Dans ces sortes de rivières, le niveau de la surface des eaux est le même d'un bord à l'autre. Mais si la pente de la rivière était plus forte, il y aurait alors un bombement sur la surface des eaux, et l'on ne serait pas assuré que les deux bords fussent de niveau, à cause des variations du courant qui se porte plus souvent d'un côté que de l'autre. Dans ce cas, si l'on veut traverser la rivière par un nivellement, on déterminera sa largeur par la trigonométrie, et l'on calculera, d'après la dernière table, la différence entre le niveau vrai et le niveau apparent; ensuite on reprendra les opérations de l'autre côté de la rivière.

Il y a des cas où les eaux, quoique dormantes en apparence, n'ont pourtant pas le même niveau; telles sont les eaux de plusieurs marais.

Le *niveau de poseur* ou de *maçon*, ainsi nommé parce qu'il est particulièrement en usage chez les poseurs, dans la construction des édifices, pour régler le lit des diverses assises, est formé d'un simple triangle isoscèle, dont les deux côtés ou règles sont assemblées à angle droit.

Toutes choses égales d'ailleurs, ce niveau sera d'autant plus exact, que ses branches seront plus longues, et que le fil aplomb qui passe par le sommet, sera plus délié.

La règle sur laquelle on appuie ce niveau, doit être droite, également épaisse dans toute sa longueur, et assez forte pour que son poids, dans le cas où elle ne serait soutenue qu'à ses à-bouts, ne la fasse pas fléchir à son milieu.

Quand on se sert du niveau d'eau, il est bon de colorer cette eau avec du vin ou de telle autre manière qu'on voudra, pour la faire contraster avec la couleur du verre.

Ce niveau s'emploie rarement dans de grandes opérations qui exigent beaucoup de précision, sa portée ordinaire n'étant que de 30 mètres. L'épaisseur d'environ deux millimètres de l'anneau qui se forme sur l'eau dans chaque fiole, les oscillations fréquentes qu'on y remarque quand il fait du vent, la fatigue qu'éprouvent les yeux en bornoyant à l'exposition du soleil, sont des inconvéniens auxquels on ne peut remédier. Le niveau à pinnules est encore plus défectueux. Quant au niveau à bulle d'air et à pinnules, sa portée ordinaire ne doit pas excéder 100 mètres, et il est aussi sujet à bien des inconvéniens. Le niveau à bulle d'air et à lunette réunit le plus d'avantages; et quand il est exactement vérifié, ce qui est, à la vérité, assez long et exige beaucoup d'attention, il donne les résultats les plus exacts : il est préféré dans les ponts et chaussées. Il paraît qu'on doit borner la portée de ce niveau à environ 200 mètres, ce qui donnera, pour chaque station, à peu près 400 mètres, dont la moitié arrière, et l'autre moitié avant.

Il ne suffit pas d'un niveau pour niveler, il faut encore divers instrumens accessoires, tels que des jalons pour tracer la route sur laquelle on doit opérer; une mire pour prendre les hauteurs du rayon de visée; une chaîne métrique pour mesurer les distances; des fiches pour marquer le nombre de chaînes; des piquets, etc.

La construction de la mire influe beaucoup sur l'exactitude des nivellemens. Elle est ordinairement formée d'une forte règle de bois dur et bien sec, de deux mètres de hauteur, d'environ six à huit centimètres de largeur, et trois à quatre centimètres d'épaisseur, ayant ses deux bouts garnis d'un sabot en fer ou en cuivre, afin d'éviter aucun raccourcissement. Elle est creusée et évidée en queue d'hyronde, dans toute la longueur de face qui doit être tournée du côté du niveau. L'évidement est destiné à recevoir une mire additionnelle ou supplémentaire, qui, par son mouvement d'ascension, augmente la hauteur de la mire principale. Les divisions de la mire principale et de la tige supplémentaire, doivent être faites et marquées, avec beaucoup de précision, de centimètre en centimètre. Au moyen d'un *nonius* placé sur la plaque de la mire, on peut facilement connaître le nombre de millimètres, s'il y en a.

Lorsque les distances de l'arrière et de l'avant sont égales, la différence des hauteurs de mire prises avec un niveau défectueux, est la même que celle des hauteurs de mire prises avec un niveau rectifié.

La vérification complète d'un niveau à bulle d'air et à lunette, consiste ainsi qu'il suit :

1° Rendre les deux fils qui se croisent dans la lunette, l'un vertical, et l'autre horizontal.

2° Faire tomber l'intersection de ces deux fils dans l'axe de la lunette.

3° Rendre ensuite parallèle au plan des platines du genou, d'abord l'axe de la lunette, et ensuite le tube à bulle d'air.

Première opération. Après avoir établi solidement l'instrument sur son pied, par le moyen des deux vis du genou, on mettra à peu près de niveau le plan des platines. On dirigera ensuite la lunette vers une ligne aplomb, telle que l'angle d'une maison.

On ramènera sur cette ligne le fil vertical, en poussant avec le doigt la lunette à gauche ou à droite. Si ce fil coïncide avec cette ligne, on ne touchera point à la vis. Si le contraire avait lieu, on ferait coïncider le fil, et, dans cet état, avec un tourne-vis, on ferait toucher le talon de la vis du coussinet à la goupille. On tournera ensuite la lunette sur ses coussinets, de manière que la goupille, qui auparavant était au-dessus, tombe au-dessous; et on répétera, à l'égard de cette goupille, les mêmes opérations que pour la précédente. Par ce moyen, ce fil deviendra vertical, et par conséquent le second sera horizontal.

Au reste, cette opération n'est que préparatoire et pour faciliter les suivantes. Elle exige, à la rigueur, que l'instrument soit déjà vérifié dans ses parties essentielles. Ainsi, il faudra y revenir et la perfectionner, lorsqu'on aura établi le parallélisme entre le plan des platines, l'axe de la lunette et le tube à bulle d'air.

Deuxième opération. La lunette étant disposée sur ses coussinets, de façon que la goupille inférieure touche le talon de la vis correspondante; supposons que le fil horizontal ne passe point par l'axe de la lunette.

On placera la mire à la plus grande distance possible, telle néanmoins que la vision soit parfaitement distincte, et elle sera établie sur un point ferme et solide. En bornoyant vers la mire, on prendra la cote du point de coïncidence avec la rayon de visée. On tournera la lunette sur ses coussinets, sens dessus-dessous, sans rien changer à sa direction, et on prendra une nouvelle cote. On fixera la mire à une hauteur qui soit la moitié de la somme des deux cotes trouvées; et, par le moyen d'une vis, on fera mouvoir verticalement l'objectif, jusqu'à ce que le rayon de visée, passant par le fil horizontal, coïncide parfaitement avec le centre de la mire dans sa dernière position. On sera alors assuré que le fil horizontal sera dans l'axe de la lunette. On y

ramènera le fil vertical, s'il ne s'y trouve point, par un procédé analogue, en plaçant la mire horizontalement sur deux supports, au lieu de la placer d'aplomb, et en ayant soin que le pied de la mire soit appuyé contre un point fixe qui ne lui permette pas de se déplacer.

Troisième opération. En bornoyant vers la mire, placée à une grande distance, on en prendra la cote. Sans déranger la situation de la règle, on tournera la lunette bout pour bout, et sens devant-derrière, de manière que l'oculaire prenne la place de l'objectif, et réciproquement. Alors on tournera la règle, et l'on bornoyera de nouveau sur la mire dont on prendra la nouvelle cote. Après avoir fixé la mire à une cote qui sera la moitié des deux qu'on vient d'obtenir, à l'aide de la vis qui est au-dessous d'un des coussinets, on fera coïncider le rayon de visée avec le centre de la mire. Alors, l'axe de la lunette sera parallèle au plan des platines.

Il ne reste plus qu'à rendre le tube à bulle d'air parallèle au même plan des platines. Pour cela, après avoir monté l'instrument de manière que la règle soit à peu près de niveau, et avoir placé la mire sur un point solide, à environ 100 mètres de distance, on dirigera vers elle l'une des deux vis et la règle. On mettra, au moyen des vis, le tube parfaitement de niveau. On tournera ensuite la règle, sens devant-derrière, sur le plan des platines. Si le tube est encore de niveau, le parallélisme cherché existe; mais si le niveau est détruit, par le moyen d'une vis, on haussera ou l'on baissera le bout du tube, en observant, dans cette opération, de ne faire parcourir à la bulle qu'environ la moitié de l'espace qu'elle devrait parcourir pour revenir à la ligne de niveau. On recommencera à mettre le tube de niveau et à retourner la règle, jusqu'à ce que, dans ce mouvement de la règle, le niveau du tube ne soit point altéré, et que la bulle reste

au milieu. On pourra alors être assuré que le tube sera parallèle au plan des platines dans le sens de la règle. Ainsi, en mettant de niveau les deux diamètres des platines correspondant aux deux vis du genou, on pourra tourner l'instrument dans tous les sens, sans que la bulle d'air abandonne sensiblement le milieu du tube; mais qu'on n'oublie pas à la fin de répéter la première opération, pour procurer aux deux fils leur véritable direction.

Tout nivellement doit commencer et finir à un point fixe et immuable. Pour ces sortes de points, qu'on appelle les *termes extrêmes* du nivellement, on choisit un rocher, le seuil de la porte d'un édifice, ou quelqu'autre objet pareil, sur lequel on trace une croix ou toute autre marque ineffaçable, qui désigne le point où on a placé la mire. Indépendamment de ces deux termes, dans les grands nivellemens, tels que ceux d'un canal, d'un chemin, du cours d'une rivière, etc., il est indispensable d'avoir d'autres points intermédiaires, qui sont autant de termes partiels du nivellement, et qu'on appelle aussi *termes de vérification.*

La plus grande hauteur de mire, dans un nivellement simple, répond toujours à l'endroit le plus bas, et la moindre au plus élevé.

Dans un nivellement composé de plusieurs stations sur un terrain qui s'élève continuellement, la différence de niveau entre les deux termes extrêmes, se trouve en retranchant la somme des hauteurs avant de celle des hauteurs arrière; le contraire a lieu quand le terrain s'abaisse continuellement.

En général, sur un terrain inégal quelconque, où il y a des montées et des descentes, faites la somme des cotes avant, et celle des cotes arrière; retranchez la plus petite de la plus grande, la différence sera celle du niveau des deux points extrêmes. Celui

d'où on part sera le plus élevé, si la somme des cotes avant surpasse celle des cotes arrière.

Quand on n'a d'autre objet dans un nivellement que de déterminer la différence de hauteur de deux points, il est inutile de mesurer les distances des divers points sur lesquels on place la mire. Mais si on veut avoir la configuration du terrain sur une direction donnée, on prendra les distances entre les différens points intermédiaires, qui serviront, avec les cotes du nivellement, à former ce qu'on appelle le profil du terrain, dont tous les points seront construits par abscisse et ordonnée. Les abscisses seront les distances horizontales qu'on aura mesurées, et les ordonnées seront les hauteurs respectives données par les cotes du nivellement, au-dessus d'une ligne horizontale prise pour terme de comparaison.

Pour faire l'opération sur le terrain avec ordre et exactitude, on dresse ordinairement un registre conforme au modèle suivant. Quand on n'a pas besoin d'une extrême précision, on peut se dispenser de tenir compte des millimètres dans les cotes prises sur le terrain.

NUMÉROS des STATIONS.	HAUTEURS ARRIÈRE.	HAUTEURS AVANT.	LONGUEURS entre les COUPS DE NIVEAU	OBSERVATIONS.
1.	1,432 (A)	1,542	40 met.	(A) Terme de départ, etc.
	1,541	2,174	100	
	1,312	1,453	190	
2.	2,104	2,146	90	
	2,246	1,274	98	
	2,313	2,104	100	
	2,411	2,006	112	
3.	1,971	1,845 (G)	70	(G) Repère de vérification, hors de la ligne.
	1,845	1,314	115	
	1,314	1,607 (K)	156	(K) Terme d'arrivée.
Totaux.	18,489	17,465	1,071 m	

La vérification d'un nivellement se fait par un autre nivellement qu'on recommence ordinairement dans un sens inverse. S'il n'y a point, ou s'il y a très-peu de différence dans les résultats, on doit regarder le nivellement comme exact. En général sur les espaces où il a été commis des erreurs, il faut trois nivellemens, dont deux se raccordent ; on abandonne le troisième comme erronné. Les grandes erreurs ne proviennent que des méprises dans l'écriture ou dans le placement des cotes sur le registre. Les vérifications n'ont pas besoin de chaînage. Pour la vérification des nivellemens relatifs aux projets de route, on se contente de les recommencer à grands coups de 2 ou 300

mètres de distance ; et si l'on trouve un résultat, à 2 ou 3 décimètres près, conforme à celui du premier nivellement, on en conclut que l'opération est suffisamment exacte. Quant aux nivellemens relatifs aux travaux hydrauliques, ils doivent être faits avec le plus grand soin, et ils exigent une vérification complète.

Le nivellement est impérieusement nécessaire pour les travaux relatifs à la conduite des eaux. Dans un canal d'irrigation, destiné seulement à porter un certain volume d'eau d'un endroit à un autre, pour servir à l'arrosage, le fond ne doit former qu'un seul plan dont la pente soit constante et uniforme. La pente doit être en raison inverse de la grandeur du canal ; ainsi elle est moindre dans les grands canaux, et plus grande dans les petits. La moindre pente est de $0^{m},017$ sur 100^{m} de longueur. Dans les petits canaux, tels que ceux qui servent à mouvoir un moulin à blé de la grandeur la plus commune, sous la chute d'environ 3 mètres, elle doit être au moins de $0^{m},041$ sur 100^{m} de longueur. Dans les canaux exclusivement affectés à la navigation, les eaux ne doivent y avoir que très-peu ou même point de mouvement ; et le plat-fond doit être parfaitement de niveau, et ne former qu'un seul plan continu, à l'exception des endroits où il faudra ménager des chutes pour les écluses.

En général, le tracé d'un canal se réduit à ce problème de nivellement : trouver sur la surface du terrain autant de points qu'on voudra, tels qu'à chacun la profondeur d'excavation donne, autant que possible, un déblai égal au remblai des levées, et que le fond de la tranchée ait une pente déterminée ou nulle, suivant la destination du canal.

S'il s'agit de traverser un bois taillis ; dans le cas où la hauteur du bois n'excèdera pas celle de la mire développée, on placera le niveau sur des endroits éminens, et d'où l'on puisse dominer

les obstacles. Si le bois s'élève au-dessus de la mire développée, il faut recourir à la hache, et se faire jour sur la route à suivre. Si la forêt est de haute futaie, on abat ordinairement la broussaille et le petit bois, pour ne laisser que les arbres parmi les tiges desquels on peut bornoyer en faisant des stations plus courtes et plus multipliées.

Si l'on doit traverser un marais ayant trop d'eau pour qu'on puisse le passer à pied, on fera le chaînage avec deux bateaux, et l'on prendra la profondeur des eaux au bout de chaque chaînée.

Lorsqu'on doit prendre un profil longitudinal sur une route tracée et non construite, il faut fixer des repères immuables auxquels on puisse se rapporter pendant la construction. On les place principalement au fond des vallées, aux sommets des montées, aux embranchemens, dans les traverses des communes et sur les ponts.

Le profil longitudinal d'une rivière a pour objet de faire connaître la pente des eaux et les inégalités du fond, suivant la direction de leur cours; et le profil transversal sert à constater ces mêmes inégalités en travers; on y marque les lignes des hautes, moyennes et basses eaux. Ces deux sortes de profils sont nécessaires dans un grand nombre de cas, et surtout lorsqu'il s'agit de la construction des ponts ou d'un canal latéral. On rapporte la position des repères à la surface des eaux vis-à-vis, et on y prend la profondeur du courant. Les cotes du profil en travers s'obtiennent par des sondes prises aux divers points d'une corde ou ficelle placée au travers de la rivière, et tenue le plus horizontalement possible.

Ayant levé un profil sur le terrain, il faut ensuite le *rapporter* sur le papier, au moyen de perpendiculaires qui tiennent lieu d'ordonnées, et qui rattachent tous les points de la ligne profilée

à une seule et même ligne qu'on regarde comme horizontale, et qui représente, comme on l'a déjà dit, la ligne des abscisses. Ordinairement, pour éviter de trop grandes longueurs, on emploie une échelle particulière pour les hauteurs, et une autre moindre pour les longueurs.

C'est au moyen de plusieurs profils ainsi rapportés, qu'on peut calculer les cubes des déblais et des remblais qui doivent former les levées et chaussées, ou les percemens souterrains qu'on est quelquefois obligé de faire pour l'établissement des routes et canaux. C'est aussi par leur secours et avec la ligne des hautes eaux qu'on détermine le nombre, la largeur et la montée des arches nécessaires pour fournir le passage convenable à la rivière prise dans le temps des plus fortes crues. Ils servent encore lorsqu'il s'agit de réduire le lit d'une rivière qui a trop de largeur; à s'assurer si une rivière exhausse son lit, et à connaître les progrès de l'exhaussement.

Ce sont les profils en travers qui, pris deux à deux, établissent le relief du terrain sur lequel on veut ouvrir une route ou un canal; d'où il résulte que, d'un profil à l'autre, le terrain est divisé en plusieurs bandes polyèdres à faces gauches, engendrées par le mouvement d'une droite parallèle au plan vertical, passant par l'axe de la route ou du canal, et dont les extrémités s'appuient sur les lignes de terrain données par les profils en travers. Telle est la génération de terrain indiquée par M. Sganzin, inspecteur-général des ponts et chaussées.

Les profils en travers sont toujours perpendiculaires à la directrice; ils doivent être en assez grand nombre, et tellement placés, qu'on ne puisse désirer aucune cote intermédiaire à deux profils pour la représentation exacte du terrain.

Pour le tracé des routes en pays de montagnes, on emploie très-utilement le niveau de pente, appelé *éclimètre*, qui donne,

sans être obligé de mesurer les distances horizontales, tous les points de pente dont on a besoin sur le terrain. Les nivellemens secondaires, pour l'établissement des profils en travers, se font au niveau d'eau, ou avec une règle et un niveau de maçon.

La recherche de l'égalité du déblai et du remblai, dans un projet de route, est un problème qu'on ne peut pas résoudre rigoureusement par la géométrie. L'expérience d'un ingénieur, guidée par la considération de l'effet des pentes projetées sur le profil en long, relativement aux déblais et remblais qui en résultent, suffit ordinairement pour déterminer les pentes des diverses parties de la directrice.

On appelle *cotes rouges* les cotes qui marquent les hauteurs comprises entre la directrice et la ligne du terrain naturel; et *points de passage* ceux qui marquent l'intersection commune de ces deux lignes. Si l'intersection a lieu entre deux cotes C, C′, dont l'intervalle, mesuré horizontalement, soit représenté par D, en appelant x la distance du point de passage à la cote C, on a $x=\frac{C.D.}{C+C'}$

Si le talus du terrain, dont la pente par mètre est P, monte, tandis que celui du projet, dont la pente est p, descend, on a $x=\frac{C}{P+p}$; et si les deux talus vont dans le même sens, on a $x=\frac{C}{P-p}$.

D'après la génération indiquée ci-dessus pour le terrain et le projet, tout solide compris entre deux profils, étant appuyé contre la surface du projet, aura pour base un plan, et pour face opposée la surface gauche du terrain. Les solides seront partagés suivant leur longueur par des plans verticaux parallèles. Si les quatre cotes rouges correspondantes deux à deux sur deux profils

en travers consécutifs, sont toutes en déblai ou en remblai, les solides auront pour base, contre le projet, un quadrilatère. Si les cotes correspondantes sont les unes en remblai et les autres en déblai, il y aura deux solides, l'un en déblai et l'autre en remblai, ayant des trapèzes pour base. Celui des côtés de ces trapèzes qui n'a point de côté correspondant parallèle, est formé par les points de passage. Quelquefois l'un des solides a pour base un trapèze, et l'autre un triangle.

On peut donc distinguer ces solides en trois espèces, et désigner par b la surface de la base ; par H, h, h', h'' les diverses hauteurs ou cotes rouges, et par V le volume ou la solidité.

La première, à base de triangle, peut avoir une, deux ou trois hauteurs, et on a $V = \frac{b\,(H + h + h')}{3}$.

La seconde, à base de quadrilatère, peut avoir une, deux, trois ou quatre hauteurs, et on a $V = \frac{b\,(H + h + h' + h'')}{4}$.

La troisième, à base de trapèze, qui se divise en deux triangles b, B.

Il y a deux cas : 1° quatre hauteurs égales, ou deux égales sur les côtés parallèles, $V = \frac{b\,(H + h + h')}{3} + \frac{B\,(h + h' + h'')}{3}$.

2° Quatre hauteurs inégales, on a

$$V = \frac{b\,(2H + 2h + h' + h'')}{6} + \frac{B\,(2h'' + 2h' + h + H)}{6}.$$

Dans la pratique, on n'emploie pas toujours ces formules à cause de la longueur des calculs ; le plus souvent, en appelant S, s les surfaces de deux profils consécutifs pris dans des plans parallèles, et D leur distance horizontale, le volume compris entre eux étant représenté par V, se calcule par la formule $V = \frac{(S + s)\,D}{2}$.

On ne peut pas toujours employer les procédés ordinaires du nivellement pour trouver les hauteurs respectives de divers points de la surface de la terre. L'opération serait trop longue et souvent impraticable, s'il s'agissait, par exemple, de déterminer la hauteur du sommet très-élevé d'une montagne. Les savans ont remédié à cet inconvénient en se servant du baromètre, et en donnant une formule précieuse par son exactitude, surtout lorsqu'il ne s'agit point d'une très-grande hauteur, et par sa simplicité. Soit z la hauteur verticale comprise entre deux stations ; t et h la température de l'air et la hauteur du baromètre prises à la station inférieure ; t', h' les nombres correspondans pour la station supérieure, on a $z = 18393^{m}. [1 + \frac{2(t + t')}{1000}]. \log. \frac{h}{h'}$

La hauteur h' relative à la station supérieure ne doit être employée qu'après l'avoir corrigée de la différence des températures T et T' du mercure aux deux stations, c'est-à-dire, après l'avoir multipliée par le facteur $1 + \frac{T - T'}{5412}$. Le coefficient 18393 se rapporte à la latitude de 50°; il doit changer avec celle du lieu de l'observation ; et l'on aura sa valeur à une latitude quelconque k, en le multipliant par $1 + (0{,}002837). \cos. 2k$.

Cette formule donnée par M. Poisson, dans son Traité de Mécanique, est la plus simple de toutes celles connues jusqu'à ce jour pour le même objet.

NOTIONS ÉLÉMENTAIRES DE PERPECTIVE ET DE DESSIN.

On appelle perspective l'art de représenter sur une surface plane les objets visibles, tels qu'ils paraissent à une distance ou à une

hauteur donnée, à travers un plan transparent, placé perpendiculairement à l'horizon entre l'œil et l'objet. La perspective est ou spéculative ou pratique.

La spéculative est la théorie des différentes apparences ou représentations de certains objets, suivant les différentes positions de l'œil qui les regarde.

La pratique est la méthode de représenter ce qui paraît à nos yeux, ou ce que notre imagination conçoit, et de le représenter sous une forme semblable aux objets que nous voyons.

La perspective, soit spéculative, soit pratique, a deux parties : l'ichnographie, qui est la représentation des surfaces, et la scénographie, qui est celle des solides.

La perspective s'appelle plus particulièrement perspective linéaire, à cause qu'elle considère la position, la grandeur, la forme, etc., des différentes lignes ou des contours des objets.

Pour donner une idée plus précise, supposons un plan transparent HI (*fig.* 1, *pl. LV bis*) élevé perpendiculairement sur un plan horizontal, et que le spéculateur S dirige son œil O au triangle ABC; si l'on conçoit présentement que les rayons AO, BO, CO, etc., en passant par le tableau HI, laissent des traces de leur passage aux points *a*, *b*, *c* sur le plan, on aura sur ce plan l'apparence du triangle *abc*, laquelle, venant à l'œil par les mêmes rayons *ao*, *bo*, *co* qui apportent à ce même œil l'apparence du triangle ABC, fera voir la véritable apparence de ce triangle sur le tableau, quand même on supprimerait l'objet, en conservant néanmoins la même distance et la même hauteur de l'œil.

On appelle plan géométral un plan parallèle à l'horizon sur lequel est situé l'objet qu'on veut mettre en perspective ; plan horizontal, un plan aussi parallèle à l'horizon et passant par l'œil ; ligne de terre ou fondamentale, la section du plan géométral et du tableau ; ligne horizontale, la section du plan

horizontal et du tableau ; point de vue ou point principal, le point du tableau sur lequel tombe une perpendiculaire menée de l'œil ; ligne distante, la distance de l'œil à ce point, etc.

L'apparence d'une ligne droite est toujours une ligne droite ; ainsi, les deux extrémités de l'apparence de cette ligne étant données, l'apparence de toute la ligne est donnée ; si une ligne FG, placée dans le tableau qu'on suppose vertical (*pl. LV bis*, *fig.* 3), est perpendiculaire à quelque ligne droite IN, tirée sur le plan horizontal, elle sera perpendiculaire à tout autre ligne droite, tirée par le même point sur le même plan ; et la hauteur du point apparent sur ce plan est à la hauteur de l'œil, comme la distance du point objectif au plan est à la somme de cette distance et de la distance de l'œil au tableau.

Lois de la projection des figures planes, ou l'ichnographie perspective. « Représenter l'apparence perspective *h* d'un point objectif H (*fig.* 2, *où l'on supposera la lettre* S *placée au pied de l'observateur* O). » Du point donné, tirez HI perpendiculairement à la ligne fondamentale DE, c'est-à-dire, à la ligne de base du tableau ; de la ligne fondamentale DE, retranchez IK = IH ; par le point de vue F, c'est-à-dire, par le point où tombe la perpendiculaire menée de l'œil O au tableau, tirez une ligne horizontale FP ; faites FP égale à la distance SL de l'œil ; enfin du point I au point de vue F, tirez FI, et du point K au point de distance P, la ligne PK, l'intersection *h* est l'apparence du point objectif.

En effet : 1° il est facile de voir que l'apparence du point H doit être dans la ligne FI, puisque cette ligne FI est la section du plan OHI avec le plan du tableau ; 2° si on tire par les points M, S et H la ligne HMS, on aura, à cause des triangles semblables, FP ou SL est à KI ou HI, comme N*h* est à *h*M ; par conséquent, SM est à MH comme N*h* est à *h*M, d'où il suit que SH est à MH,

comme la somme de Nh et de hM, c'est-à-dire, NM est à hM. Donc SH : IH :: FI : hI, d'où l'on voit que les points O, h, H, sont dans la même ligne, et qu'ainsi h est l'apparence ou l'image de l'objet H.

C'est pourquoi, 1.° puisque, l'apparence des extrémités d'une ligne droite étant donnée, l'apparence de toute la ligne est donnée, on peut avoir, par cette méthode, la projection ichnographique d'une figure quelconque rectiligne ; 2° puisque l'on peut avoir, par ce moyen, la projection d'un nombre quelconque des points d'une courbe sur le plan du tableau, on peut avoir pareillement la projection des lignes courbes, en suivant la même méthode ; 3.° ainsi, puisque cette méthode s'étend aux figures mixtilignes, elle est par conséquent universelle.

Je vais éclaircir cette méthode par quelques exemples.

Trouver l'apparence perspective d'un triangle ABC (*pl. LVbis, fig.* 9), dont la base AB est parallèle à la ligne fondamentale DE.

A la ligne fondamentale DE, tirez une parallèle HR à un intervalle égal à la hauteur de l'œil ; prenez le point de vue ou un point principal V ; portez la distance de l'œil du point V au point K ; des différens angles du triangle ABC, abaissez les perpenciculaires A 1, C 2, B 3 ; transportez ces perpendiculaires sur la ligne de terre ou fondamentale CD, de l'autre côté du point de distance K ; des points 1, 2, 3, tirez les lignes droites au point fondamental ou principal V 1, V 2, V 3. Des points A, B, C de la ligne fondamentale DE, tirez au point de distance les autres lignes droites AK, BK, CK.

Par la construction précédente, les points a, b, c, sont les apparences des points A, B, C ; donc ayant tiré les lignes droites ca, ba, bc, acb sera l'apparence du triangle ACB.

On fait de même la projection d'un triangle sur un plan, quand le sommet C est opposé à l'œil ; il n'est besoin que de

changer la situation du triangle sur le plan géométral, et de tourner le sommet C vers la ligne de terre ED.

Représenter l'apparence d'un carré ABCD, vu obliquement (*fig.* 11), et dont un des côtés AB, est sur la ligne de terre DE. Puisque le carré est vu obliquement, prenez dans la ligne horizontale HR le point principal V, de manière qu'une perpendiculaire à la ligne de terre puisse tomber au dehors du côté du carré AB, ou qu'au moins elle ne le coupe pas en deux parties égales, et soit VK la distance de l'œil au tableau; transportez les perpendiculaires AC et BD sur la ligne de terre DE, et tirez les lignes droites KB, KD, comme aussi AV, VB; alors les points A et B seront eux-mêmes leurs propres apparences; *c* et *d* les apparences des points C et D; par conséquent A*c* *d*B est l'apparence du carré ABCD.

Si le carré ACBD était à quelque distance de la ligne de terre DE, il faudrait aussi transporter sur la ligne de terre les distances des angles A et B, ainsi qu'il est évident par le problème précédent.

Représenter l'apparence d'un carré ABCD (*fig.* 12), dont la diagonale AC est perpendiculaire à la ligne de terre.

Prolongez les côtés DC et CB jusqu'à ce qu'ils rencontrent la ligne de terre aux points 1 et 2; du point principal V, transportez la distance de l'œil K en L; de K aux points A et 1, tirez les droites KA et K1; et de L aux points A, 2, les lignes droites LA L2; les intersections de ces lignes représenteront l'apparence du carré de ABCD, vu par l'angle.

Représenter l'apparence d'un carré ABCD (*fig.* 13), dans lequel on en a inscrit un autre IMGH, le côté du plus grand AB étant sur la ligne de terre, et la diagonale du plus petit, perpendiculaire à cette même ligne. Du point principal V, transportez de part et d'autre, sur la ligne horizontale HR, les distances VL et

VK ; tirez VA et VB, KA et LB ; alors A*c* *d*B sera l'apparence du carré ACDB ; prolongez le côté du carré inscrit IH, jusqu'à ce qu'il rencontre la ligne de terre au point I, et tirez les lignes droites KI et KM, alors *ihg* M sera la représentation du carré inscrit HIGM : d'où l'on conçoit aisément la projection de toutes sortes de figures inscrites dans d'autres figures.

Mettre en perspective un plancher fait de pierres carrées vues directement. Divisez le côté AB (*fig.* 14) : transportez sur la ligne de terre DE autant de parties égales qu'il y a de pierres dans un rang de carrés : des différens points de division, tirez des lignes droites au point principal V ; de A au point de distance K, tirez une ligne droite AK ; et de B à l'autre point de distance L, tirez une autre ligne LB ; par les points des intersections des lignes correspondantes, tirez des lignes droites parallèles à AB, que vous prolongerez jusqu'aux lignes droites AV et VB ; alors A*fg*B sera l'apparence du plancher AFBG.

Mettre en perspective un cercle. Si ce cercle est petit, circonscrivez-lui un carré, après avoir tiré les diagonales du carré, et avoir mené, outre cela, dans le cercle des diamètres *ha* et *de* (*fig.* 15), qui s'entrecoupent à angles droits ; tracez les lignes droites *fg* et *bc* parallèles au diamètre ; par les points *b* et *f*, de même que par les points *c* et *g*, tirez des lignes droites qui rencontrent la ligne de terre DE aux points 3 et 4 ; au point principal V, tirez les lignes droites V 1, V 3, V 4, V 2, et aux points de distance L et K, menez les lignes droites L 2 et K 1 ; enfin, joignez les points d'intersection *abdfhgeca* par les arcs *ab*, *bd*, *df*, etc. De cette manière, *abdfhgeca* sera l'apparence du cercle.

Si le cercle est considérable, sur le milieu de la ligne de terre AB (*fig.* 16) décrivez un demi-cercle, et des différens points de la circonférence CFGHI, etc., que vous prendrez en assez grand

nombre, abaissez sur la ligne de terre les perpendiculaires C 1, F 2, G 3, H 4, I 5; des points A, 1, 2, 3, 4, 5, etc., tirez des lignes droites au point principal V; tirez-en une aussi de B au point de distance L, et une autre de A au point de distance K; par les points d'intersection communs, tracez des lignes droites comme dans le problème précédent; par-là, vous aurez les points *acfghi*, qui sont les représentations des points ACFGHI, et en les joignant comme ci-dessus, ils donneront la projection du cercle.

Il est à remarquer qu'on peut se tromper en joignant par des arcs les points trouvés suivant les méthodes que nous venons d'enseigner; car ces arcs ne sont point des arcs de cercle, mais des arcs d'une autre courbe, connue par les géomètres sous le nom d'ellipse, et dont la description géométrique n'est pas très-facile, surtout lorsqu'il est question de la faire passer par plusieurs points; c'est pourquoi il est presque impossible que la perspective du cercle soit parfaitement juste, en la traçant suivant les règles que nous venons d'enseigner; mais ces règles suffisent dans la pratique.

Au reste, la méthode que nous venons de proposer pour mettre un cercle en perspective, a cela de commode, qu'elle peut être employée également pour mettre en perspective une courbe ou une ligne curviligne quelconque; car il n'y a qu'à inscrire et circonscrire à cette figure des carrés ou des rectangles, si la figure n'est pas fort grande; ou, si elle l'est, mettre en perspective plusieurs de ses points, que l'on joindra ensuite par des lignes courbes.

Représenter en perspective un pentagone régulier, ayant un bord ou limbe fort large, et terminé par des lignes parallèles. 1° Des différens angles du pentagone extérieur BCDE (*fig.* 17), abaissez sur la ligne de terre CS les perpendiculaires B 1, C 2, B 3, E 4, que vous transporterez, comme ci-dessus, sur la ligne de terre;

après quoi, des points 1, 2, 3, 4, tirant des lignes au point principal V, et de ces mêmes points, tirant d'autres lignes au point de distance K, les communes intersections de ces lignes représenteront l'apparence du pentagone extérieur. Maintenant, si des angles intérieurs GHKLI, vous abaissez pareillement les perpendiculaires GA, H5, K6, I7, L8, et que vous acheviez le reste, comme dans le premier cas, vous aurez la représentation du pentagone intérieur : ainsi ce pentagone ABCDE sera représenté en perspective avec son bord.

On doit observer ici, que, si les grandeurs des différentes parties d'un objet étaient données en nombres avec la hauteur et la distance de l'œil, on pourrait en construire la figure avec une échelle géométrique, et y déterminer, par le même moyen, le point fondamental et le point de distance.

Il n'est pas toujours nécessaire que l'objet soit tracé sous la ligne de terre, quand on fait la projection des carrés; il est mieux de s'en passer; mais quand cela est nécessaire, et que l'espace manque, on le trace en particulier; et après avoir trouvé les divisions dont on a besoin, on les transporte sur la ligne de terre qui est dans le tableau.

Si l'on attache des fils au point principal et au point de distance, et qu'on les étende au point de division sur la ligne de terre, la commune section de ces fils donnera très-distinctement la projection des différens points; et cette méthode peut souvent être employée avec succès; car il est fort difficile d'éviter la confusion, quand on est obligé de tracer un grand nombre de lignes.

La perspective scénographique, ou la projection des corps sur un plan, est la représentation d'un corps sur un plan avec toutes ses dimensions, tel qu'il paraît aux yeux.

Toute la difficulté se réduit au problème suivant : Sur un point donné C (*fig.* 18), élever une hauteur perspective correspondante à la hauteur objective PQ donnée.

Sur la ligne de terre, élevez une perpendiculaire PQ, égale à la hauteur objective donnée; des points P et Q, menez à un point quelconque, tel que T, les lignes droites PT et QT; du point donné C, tirez une ligne CK, parallèle à la ligne de terre DE, et qui rencontre en K la ligne droite QT; au point K, élevez une perpendiculaire IK sur KC: cette ligne IK, ou son égale CB, est la hauteur scénographique que l'on demandait.

Dans la pratique de la perspective d'un bâtiment, on considère deux choses, le plan et l'élévation du bâtiment: ce plan est ce qu'on appelle autrement ichnographie. On trace ce plan de manière que les parties les plus éloignées soient plus petites, suivant la proportion qu'on veut y mettre, et qui dépend de la position du point de vue, et on élève ensuite sur ce point les perpendiculaires qui marquent les hauteurs correspondantes des différentes parties du bâtiment; après quoi, on ajoute à la figure de la carcasse du bâtiment, les ornemens des différentes parties. Ainsi on voit que ce problème, qui consiste à mettre un bâtiment en perspective, se réduit à mettre en perspective ses surfaces ou des solides placés à des distances connues.

DU DESSIN.

Le dessin est en général la représentation des travaux de la nature et de l'art. Les sites montueux couverts de rochers arides ou embellis par des bouquets de bois, des bosquets, de superbes prairies, vus d'un seul point, forment le paysage; ces mêmes sites, parcourus à vue d'oiseau, donnent l'idée de la carte: cette division a de même lieu pour les travaux de l'art, qui sont représentés en perspective ou en plan.

L'ingénieur doit être au fait de tous ces genres de dessin. Je ne parlerai que de celui de la carte, comme un des plus essen-

tiels ; et je suivrai les principes de M. Lespinasse, l'un des meilleurs dessinateurs de Paris en ce genre ; il a été mon maître, mon ami et mon collégue à l'Ecole militaire, où nous étions professeurs.

Il faut qu'un ingénieur sache bien dessiner ; car savoir tirer des lignes ne suffit pas : il faut que, sans le secours de la règle et du compas, guidé par le jugement et le goût surtout, il puisse exprimer tous les objets dont la nature varie les formes à l'infini ; il faut qu'il sache trouver des formes vraies ou naturelles. Dans un paysage plan, bien des détails se font à volonté ; mais il doit les rendre avec cet esprit qui indique la nature vraie de ces détails, et les subordonner à l'échelle du plan ; il ne réussira point dans tous ces détails, s'il n'est véritablement dessinateur.

Il faut qu'en dessinant le paysage d'après nature, l'ingénieur se familiarise avec tous les objets qui l'environnent, les rochers, les escarpemens, les ravins, etc. ; car ce n'est pas avec des masses de noir et de blanc jetés au hazard, sans forme et sans effet, qu'on imite la nature.

Dans l'ensemble d'une carte, il se trouve des pentes, des montagnes, vues dans un sens fuyant, qui doivent présenter l'effet du plan incliné en raccourci, sans cependant que ce raccourci soit réel, puisqu'on est astreint à se renfermer dans l'espace donné pour leur pente ou leur base.

De plus, les parties fuyantes des montagnes présentent aussi des escarpemens, des éboulemens de terre ou de roches en formes très-difficiles à rendre ; ce qu'on ne peut exprimer qu'avec le sentiment et le tact des raccourcis linéaires (*voy. pl. XXVII*). Le géométral n'en est point altéré, et l'on parvient par ce moyen à un ensemble exact, dont l'œil saisit tous les détails. Il faut enfin une connaissance de la perspective aérienne, pour l'accord des couleurs locales et l'harmonie générale.

Les couleurs propres au lavis du genre de la carte, sont toutes celles qu'on appelle transparentes : il faut en excepter le vert d'eau, dont l'usage nuit beaucoup à l'harmonie, et qui perd son ton en très-peu de temps.

Ces couleurs sont : l'encre de la Chine, le carmin, la gomme gutte, l'indigo ou le bleu de Prusse, et le bistre.

Le premier trait d'un dessin doit être très-léger, et ne doit présenter que la place des choses en grandes masses, afin de laisser la faculté de donner à ces différentes masses, par un nouveau trait ferme et arrêté, les formes les plus propres à les exprimer comme il convient.

Ainsi le premier trait, d'abord au crayon, ensuite arrêté définitivement à la plume ou au pinceau, doit être assez senti pour annoncer d'avance l'effet de cet ensemble général.

L'art et l'intelligence doivent faire de concert cette première opération.

Ce premier trait ne peut nuire nullement au lavis; il disparaît peu à peu sous le pinceau; mais il en doit rester assez pour ne pas perdre les données géométrales, l'esprit et les détails que l'on a d'abord imaginés convenables à chaque chose, enfin, pour ne pas s'écarter de la route que l'imagination s'est tracée d'après la nature.

Les chemins, les contours des rivières, des ruisseaux, des ravins; les bois, les haies doivent être tracés à la plume, ainsi que tout ce qui est maisons, etc.

Les pentes des montagnes, les rochers, les escarpemens seront mieux au pinceau qu'à la plume.

Il faut, pour exprimer les pentes des montagnes, que les coups de pinceau soient donnés suivant les profils de la montagne que l'on veut exprimer, pour en faire sentir les différens degrés de pente.

Les arbres et haies, les buissons seront arrêtés à la plume, et on indiquera les différentes espèces, autant que la grandeur de l'échelle pourra le permettre.

Les bois et les forêts seront disposés par grouppes plus ou moins étendus; et dans les intervalles des masses, on indiquera quelques buissons ou broussailles pour faire remplissage et liaison.

Les haies et les buissons, n'étant que les diminutifs des grands bois, doivent être traités avec beaucoup de goût et de légèreté.

Les différentes espèces d'arbres qu'il est possible de distinguer dans les cartes par leur forme, sont le chêne, le bouleau, le peuplier, l'aune, le saule, le sapin et le pin d'Italie. (Voyez ces différens arbres exprimés *pl. XXVII.*)

Les flaques d'eau seront aussi arrêtées à la plume, ainsi que les rivières.

Les jardins qui tiennent à de petites maisons, ou qui entourent celles des villages, seront arrêtés au pinceau.

Pour les vignes, on fait les échalas à la plume, très-petits et perpendiculaires à la base du plan; on place çà et là de petits arbres, afin d'ôter la monotonie qui règne dans les cartes où il y a beaucoup de vignes.

Les lignes des contours des plans des maisons sont tirées à la règle, et presque toujours en noir; on distingue ensuite, par le lavis en rouge, tout ce qui est maçonnerie. Les projets à exécuter, de quelque nature qu'ils soient, sont lavés en jaune; et si ce projet est irrésolu, les lignes sont ponctuées.

En mettant au trait les plans des ouvrages que je viens de désigner, on fera sentir le côté ombré par un trait plus fort : le jour est supposé venir, de la gauche à droite, à 45 degrés de déclinaison.

Tout ce qui est censé élevé, sera ombré à droite et au-dessous, comme les maisons, les chemins, etc. Tout ce qui est creux,

sera ombré au-dessus et à gauche comme les rivières, les vallons, etc.

Les ouvrages de maçonnerie qui ont été détruits, seront ponctués en rouge; ceux de terre également détruits, le seront en noir.

On exprime aussi par des lignes ponctuées les ouvrages souterrains, tels que les canaux, les tuyaux de conduite des eaux.

Le trait de toutes les parties du dessin étant arrêté à la plume ou au pinceau, la feuille de papier sur laquelle le dessin est tracé, sera collée, par les bords seulement, sur une planche ou sur un carton assez fort pour ne pas être plié lui-même par la tension du papier.

Cette précaution est nécessaire pour toute espèce de lavis.

L'opération se fait avec la colle à bouche, après avoir humecté le revers du papier, en le frottant légèrement avec une éponge, dans laquelle il ne doit rester que très-peu d'eau.

Après cette dernière préparation, si le papier n'est pas très-bon, ou qu'il ait été fatigué par la mise au trait, on passera sur le tout, pour le rétablir, une eau légère d'alun, avec un très-gros pinceau. Il faut, lorsqu'on passe l'eau d'alun, poser verticalement le dessin, et le laisser égoutter et sécher dans cette situation : cette opération remet le papier dans l'état où il était avant d'avoir éprouvé aucun frottement.

Le dessin de carte étant ainsi préparé, il faut poser les premières teintes à l'encre de la Chine : elles doivent porter sur les grandes masses, sans s'arrêter aux détails, si ce n'est pour ménager les effets de lumière. Les détails s'expriment ensuite par des teintes et des touches plus ou moins fortes.

Les coups de force viennent ensuite pour rendre certains détails plus sensibles, plus décidés; pour exprimer les creux, les trous, et tout ce qui est totalement privé de lumière.

Les teintes doivent être de deux espèces : les teintes plates et les teintes adoucies. Les teintes plates sont pour les masses de rochers, et les teintes adoucies pour les pentes de montagnes. Les teintes de lavis doivent paraître transparentes.

Pour conserver la transparence des teintes du lavis, il faut les poser à grandes touches franchement et sans tâtonnement.

Les masses des rochers seront couvertes d'une teinte plate d'encre de la Chine, posée comme je viens déjà de le dire, franchement et à pinceau plein ; mais avant d'employer cette teinte, il faudra établir le ton local de ces masses de rochers, et, pour les colorer, on choisira parmi les tons jaunâtres, roussâtres, grisâtres, celui qui leur est propre. Les deux premiers seront composés avec le carmin et la gomme gutte, le dernier avec le bleu et le carmin.

On distribuera ces tons colorans sur les différentes parties de ces masses de rochers, de manière qu'ils soient en opposition, et qu'ils contrastent avec goût les uns avec les autres, et l'on aura soin de leur donner le degré de force propre à leur faire conserver sous la teinte d'encre de la Chine le ton local qui leur est naturel.

Les groupes d'arbres des forêts, disposés comme nous l'avons indiqué, seront ombrés avec une teinte moyenne d'encre de la Chine ; ensuite, dans les masses ombrées de ces groupes, on décidera avec une teinte un peu plus forte les détails que le trait de plume y aura préparés, ainsi que ceux de leur partie éclairée.

La couleur des bois doit être amenée par gradation au point de force convenable pour les rendre avec fraîcheur et avec vigueur.

La couleur générale des bois est d'autant plus agréable qu'elle est variée, et les divers tons que l'on emploie pour imiter cette variété donnent de l'agrément au dessin.

Le carmin et la gomme gutte fourniront les tons plus ou moins durs, et les autres tons seront le produit des mélanges diversement combinés de bleu et de jaune.

Les différens tons de vert des bois étant portés au degré de vigueur convenable, on retouchera tous les détails de leurs masses.

Les ombres portées des arbres isolés ou groupés seront annoncées avec une teinte plus forte d'encre de la Chine ; on pourra encore donner un petit coup d'ombre au pied de chaque arbre avec une couleur de terre.

Pour finir entièrement les masses des bois, on repassera leurs pieds déjà dessinés à l'encre, avec un pinceau fin chargé d'une couleur forte de terre d'ombre, composée de bistre, de carmin, de gomme gutte et d'encre, et avec cette même couleur on donnera par-ci, par-là, de petites touches sèches partout où on les croira nécessaires, sans trop les multiplier. Ce que je viens de dire pour les bois est appliquable aux haies, aux buissons et aux arbres isolés, etc.

Pour ombrer les eaux, on commencera par annoncer légèrement les petites réflexions des parties ombrées des bords des rivières, des étangs, des lacs, etc. avec le ton local qui convient, et ensuite on passera dessus de l'encre de la Chine.

En posant les teintes qui exprimeront les réflexions, on ménagera un petit filet de clair parallèle, et immédiatement au bord des rivières : ces teintes doivent être posées d'une manière libre et franche.

Lorsque toutes les parties du plan seront préparées ou ébauchées, on étendra à plat une teinte très-légère d'encre de la Chine sur tout ce qui est plaine ou vallon ; on ménagera les chemins, les lumières des principaux groupes d'arbres, les eaux, les massifs des maisons, etc.

Il ne faut pas craindre que cette légère teinte nuise au brillant des couleurs que l'on appliquera dessus ; elles auront encore le degré de fraîcheur convenable à la place qu'elles doivent occuper.

Lorsqu'on a exécuté cette dernière opération , les premières nuances de couleur s'établissent sur le plan, en le couvrant en entier d'un ton local , dont l'effet est d'en lier toutes les parties.

Pour y parvenir , on fera deux teintes très-légères, l'une de vert, l'autre , couleur de terre.

Ces deux teintes , qui ne doivent être que des eaux teintées , seront étendues sur tout le plan.

On prendra, pour cet effet, deux pinceaux ajustés à la même hampe, l'un chargé de la couleur de terre , l'autre de la couleur verte , et on lavera tout le plan alternativement avec ces deux couleurs, en les fondant l'une dans l'autre , en ménageant , comme je l'ai déjà dit plus haut pour la teinte d'encre, les chemins, les eaux , etc.

On observera qu'il faut mettre plus particulièrement la couleur de terre sur les pentes des montagnes , sur les rochers , les sables, etc. , et la verte sur les prairies et les parties gazonnées , etc. ; cela n'empêchera pas par la suite de placer du vert sur la couleur de terre et réciproquement.

La teinte locale étant posée , et le papier bien sec et tendu , on établira sur les prairies une teinte verte de moyenne force.

Cette teinte sera posée à plat très-uniment, et elle sera plus bleuâtre , à mesure que les parties sur lesquelles on la posera s'éloigneront de la base du plan , et plus jaunâtre , à mesure qu'elles s'en rapprocheront.

Lorsque cette première teinte sera bien sèche, on reviendra dessus avec une seconde un peu plus forte, et par des touches données parallèlement à la base. L'effet de ces touches est 1° d'empêcher la monotonie de la teinte plate ; 2° d'exprimer les touffes d'herbes qui varient la surface des prairies.

Ces touches doivent être données librement, légèrement et à quelque distance les unes des autres; on en lie plusieurs ensemble pour étendre quelques-unes des touches dont on vient de parler, de façon qu'elles soient placées avec goût et sans affectation.

Enfin, on parvient à finir les prairies, d'abord par de petites retouches de différentes nuances, et en dernier résultat, par un léger glacis d'indigo sur le tout.

L'effet de ce glacis, posé à grands coups de pinceau plein, est de mettre tellement de l'accord et de la liaison entre les retouches et le fond, qu'ils paraissent n'être faits que d'une seule et même pâte.

Les terrains dépouillés de verdure seront mis en harmonie avec les objets dont ils seront environnés; on aura soin d'y jeter au hasard quelques touffes d'herbes ou de broussailles, sans trop les multiplier, pour ne pas détruire l'effet des masses.

Les sables se distingueront par une couleur plus dorée, et par une espèce de pointillé léger fait au pinceau.

Pour exprimer les terres labourées, on sillonne l'espace du terrain qu'elles occupent avec une plume émoussée ou un pinceau fin : les sillons sont plus doux et moins roides au pinceau qu'à la plume ; on les faits sur la teinte locale.

On sillonnera au pinceau, parallèlement à leurs longs côtés, les différentes pièces d'un terrain, ayant soin qu'ils soient un peu tremblotés.

Le sillonnement se fait avec différentes couleurs, pour exprimer les différentes natures de terre ou de culture, sans cependant mettre trop de variété, pour éviter le papillotage.

On donnera, sur les échalas des vignes, quelques touches sèches de vert avec un pinceau, et un petit coup de terre d'ombre au pied; les touches de vert doivent croiser l'échalas un peu obliquement.

On finit les jardins en sillonnant les petits compartimens qui forment leurs distributions, comme on sillonne les terres labourées, mais beaucoup plus finement; on en varie les couleurs, auxquelles on conserve le plus de fraîcheur que l'on peut.

Les parties de bosquets, de charmilles, lorsqu'il y en a, se traitent par les mêmes procédés que ceux que nous avons indiqués pour les bois et les arbres.

On couvrira les rivières d'une teinte plate d'indigo très-légère, sur laquelle, lorsqu'elle sera sèche, on reviendra avec une autre teinte un peu plus forte, par des touches ou méplats, pour rendre les ondulations, exprimer les détails de la superficie et les reflets des objets qui avoisinent les bords.

Lorsque toutes les parties sont d'accord, on donne des coups de force qui servent à mettre de la fermeté dans les masses d'ombres, et dans les masses éclairées, et à décider davantage certains objets.

On étend ensuite sur tout le plan, rapidement et avec un gros pinceau plein, un glacis d'indigo d'une teinte extrêmement légère.

Ce glacis enveloppe la touche, lie, adoucit le passage d'un ton à un autre, et répand sur tout le plan ce ton aérien qui indique la présence de l'air, sans lequel il n'existe point de véritable imitation de la nature.

Lorsque le glacis dont on vient de parler sera sec, on lavera à plat les plans particuliers des maisons, des villes et villages, et généralement tout ce qui est maçonnerie, avec du carmin, en relevant d'un trait fort le côté ombré.

Le pantographe est un instrument dont on se sert pour copier le trait de toutes sortes de dessins, soit de la même grandeur, soit en les réduisant ou en les augmentant (*voy. pl. LV, fig.* 1). Il est composé de quatre règles, deux grandes et deux petites,

jointes ensemble par des charnières à pivot, lesquelles forment toujours un parallélogramme entr'elles : l'une de ces règles porte une pointe qui parcourt tous les traits du dessin original, tandis que le crayon porté par une autre de ces règles, trace ces mêmes traits de la même grandeur, ou plus grands ou plus petits, sur une surface quelconque.

Cet instrument n'est pas seulement utile aux personnes qui ne savent pas dessiner ; il est encore très-commode pour les plus habiles, qui, par-là, se procurent promptement des copies fidèles du premier trait, et des réductions qu'ils ne pourraient avoir sans cela qu'en beaucoup de temps, avec bien de la peine, et vraisemblablement avec moins d'exactitude.

CHAPITRE DEUXIÈME.

DES CHEMINS ET DES ROUTES PROPREMENT DITES.

Quoique l'origine des grands chemins soit ensevelie dans la plus profonde antiquité, il n'est pas moins naturel de penser qu'il y en a eu dans les premiers âges du monde, et qu'ils se sont augmentés à proportion que les établissemens des hommes se sont multipliés et étendus d'un pays à un autre. Les besoins communs leur ont successivement fait connaître la nécessité de les conserver, d'où l'on peut présumer qu'il y a eu, dans tous les temps, une administration de cette partie si intéressante de la prospérité de tous les pays civilisés; mais celle des temps reculés nous est entièrement inconnue.

Ce n'est que dans les beaux jours de la Grèce que l'on commença à sentir l'importance que l'on devait attacher aux grands chemins; mais ce sont surtout les Romains qui ont porté toute leur attention sur cette partie importante de l'administration d'un grand empire.

Les honneurs rendus à ceux qui s'occupaient de l'entretien des grands chemins, les conduisaient, pour ainsi dire, à l'immortalité. Ces chemins prenaient ordinairement le nom de leurs auteurs. On fit dresser, en l'honneur de César-Auguste, pour avoir réparé la voie Flaminienne depuis Rome jusqu'à Rimini, deux arcs de triomphe qui furent placés aux deux extrémités de son ouvrage, l'un dans Rome sur le pont d'Antibes, et l'autre à Rimini.

Plusieurs de ces monumens élevés à la mémoire des empereurs qui se sont occupés des travaux publics, sont encore debout pour attester la reconnaissance des peuples.

Les mêmes honneurs furent accordés aux successeurs d'Auguste, Vespasien et Trajan pour les mêmes motifs.

Lorsque Auguste eut réuni sous sa domination tous les peuples connus, il lui restait encore à vaincre plusieurs petites nations qui habitaient les montagnes, pour ainsi dire, à la porte de Rome. Les habitans de la vallée d'Aouste, connus d'abord sous le nom de *Salessiens*, étaient une de ces peuplades qui n'avaient jamais été vaincues, parce qu'elles étaient défendues par des rochers inaccessibles; mais Auguste qui voulait donner la paix au monde, résolut de faire pratiquer des chemins dans les montagnes pour y conduire les troupes et subjuguer ces peuples indomptés; les légions même furent employées à pratiquer ces chemins et à protéger les ouvriers. Ces chemins furent enfin tracés, taillés dans les montagnes dont la cime perçait les nues: on les suivit jusque sur la pente des Monts qui descendent vers la France, et on les paracheva jusqu'à Lyon. La plus large de ces voies passait par la Tarentaise dont les habitans s'appelaient *Centiones;* et la plus étroite, par les monts Apennins qui font partie des Alpes. Tous ces petits peuples furent bientôt détruits ou subjugués. Ce fut la dernière guerre que fit Auguste. Le peuple romain fit, par reconnaissance, élever à sa gloire un arc de triomphe au lieu le plus éminent des Alpes, entre le grand et le petit mont, appelé aujourd'hui *Saint-Bernard*, lieu où, après vingt siècles écoulés, un conquérant, ambitieux de toute espèce de gloire, a fait pratiquer des routes et élever des monumens qui surpassent presque, en beauté et en grandeur, tout ce qu'a fait Auguste.

Agrippa, gendre d'Auguste et le premier de l'empire, avait ce génie qui porte l'homme aux grandes entreprises ; il s'occupa principalement de la construction des grands chemins dans les Gaules, et ce fut de Lyon qu'il les fit partir pour les diriger vers les extrémités des provinces gauloises. Quatre de ces grands chemins sont surtout remarquables par leur étendue et la difficulté de leurs passages. Le premier traversait les montagnes d'Auvergne jusqu'au fond de l'Aquitaine ; le second passait le long du Rhin, et continuait jusqu'à l'Océan ; le troisième passait à travers la Bourgogne, la Champagne et la Picardie jusqu'à l'Océan occidental ; le quatrième par la Gaule Narbonnaise jusqu'au rivage de Marseille : la plupart de ces chemins subsistent encore aujourd'hui, tant ils étaient solides et bien construits.

Les chemins que les Romains firent construire en Angleterre, lorsqu'ils s'en furent rendus les maîtres, étaient si étonnans par leur grandeur et leur construction, que dans la suite on a cru que c'était l'ouvrage des géans : il en est de même de ceux d'Espagne.

Il y avait aussi des chemins de communication de l'Italie aux provinces orientales de l'Europe, par les Alpes et la mer de Venise : Aquilée était la dernière ville de ce côté : c'était le centre de plusieurs grands chemins, dont le principal conduisait à Constantinople. D'autres moins considérables se répandaient dans la Dalmatie, la Croatie, la Hongrie, la Macédoine, etc. L'un de ces chemins s'étendait jusqu'aux bouches du Danube, arrivait à Tornes, et ne finissait qu'où la terre ne paraissait plus habitable.

Telle était la correspondance des routes en deçà et en delà du détroit de Constantinople, qu'on pouvait aller de Rome à Milan, à Aquilée ; sortir de l'Italie, traverser l'Esclavonie, arriver à

Constantinople, parcourir la Natolie, la Gallicie, la Souri; passer à Antioche, dans la Phénicie, dans la Palestine, dans l'Egypte, à Alexandrie; aller chercher Carthage à Clysenos; s'arrrêter à la mer Rouge, après avoir fait deux mille trois cent quatre-vingts de nos lieues de France.

Quels travaux, à ne les considérer que par leur étendue! mais quel étonnement, quelle admiration n'excitent-ils pas, quand on embrasse sous un seul point de vue, et cette étendue et les difficultés à vaincre! des forêts ouvertes, des montagnes coupées, des collines applanies, des vallons comblés, des marais desséchés, des ponts élevés, etc,

Les vainqueurs du monde ne purent point, à leur tour, résister aux efforts des peuples qui se soulevèrent contre eux, et l'empire romain fut écrasé sous le poids de sa grandeur. Ce fut là, comme on peut le penser, l'époque de la décadence de l'administration des grands chemins. Les nouveaux conquérans négligèrent leurs réparations; les ponts tombèrent faute d'entretien, ou furent démolis par les barbares; et les Français qui survinrent, fondèrent leur empire sur les débris de ce colosse politique, dont l'existence n'était plus qu'un songe. Il ne faut pas s'attendre à voir les Français s'occuper de la construction et de l'entretien des chemins: un peuple conquérant est, par caractère, dévastateur; il ne se plaît que dans les ruines. Charlemagne est le premier de nos Rois qui ait donné une attention plus particulière aux grands chemins. Après avoir conquis l'Allemagne, l'Italie, une partie de l'Espagne, il sentit la nécessité d'établir des communications faciles dans toutes les parties de son vaste empire : c'est pourquoi il s'appliqua à relever les anciennes voies militaires, et chargea les plus grands seigneurs de sa Cour d'en surveiller les travaux. Il employa, comme les Romains, les troupes et les peuples à la construction des che-

mins ; mais ces travaux si importans cessèrent avec son règne. Louis-le-Débonnaire et quelques-uns de ses successeurs voulurent suivre le même plan ; mais ils n'avaient pas le génie de Charlemagne ; et d'ailleurs, des guerres étrangères, des guerres intestines firent tout tomber dans la confusion.

Philippe-Auguste avait senti, ainsi que Charlemagne, la nécessité de refaire les chemins et de les réparer. Il envoya dans les provinces des commissaires pour surveiller cette partie d'administration ; mais, comme ces commissaires ne remplirent pas ses vues, il les supprima, et la surveillance des ponts et chaussées fut rendue aux juges ordinaires qui en connaissaient auparavant. Les grandes routes ne furent pas mieux administrées par les tribunaux que par les commissaires ; et sous Charles VI, les dégradations des chemins, des canaux, des ponts, furent portées à un tel excès, qu'il n'existait, pour ainsi dire, plus de communication entre les provinces. Les seigneurs, les moines, qui jouissaient presque tous des droits de péage, recevaient sans faire aucune réparation. Ce fut à peu près vers ce temps-là que les trésoriers de France commencèrent à connaître des réparations des chemins et des ponts. Une ordonnance de Louis XII prescrivit à tous les tribunaux de contraindre par tous les moyens, les propriétaires des péages, pavages et barrages, à l'entretien des chemins, ponts, etc. Enfin en 1583, la connaissance et la surveillance des ponts et chaussées fut attribuée aux juges des eaux et forêts, sans qu'ils fussent mieux entretenus : la corvée était cependant déjà établie, c'était le seul moyen qu'on pût employer alors pour l'entretien des routes. Les choses restèrent à peu près dans cet état jusqu'au règne de Henri-le-Grand, qui s'occupa particulièrement de cette partie essentielle. Aussitôt qu'il se vit paisible possesseur de ses Etats, il commença par créer un Grand-Voyer-de-France pour administrer sous ses or-

dres. Ce prince s'attacha ensuite à établir un bon ordre dans le maniement des fonds ; mais il mourut trop tôt. Louis XIII ne pouvait mieux faire que de suivre les intentions de son prédécesseur, et pour assurer l'emploi des fonds affectés dans chaque province aux travaux des ponts et chaussées, il créa des offices de Trésoriers-généraux.

Leurs fonctions étaient de passer les adjudications, d'assister au toisé et à la reddition des ouvrages, d'en tenir registre, etc. Ces offices furent supprimés, et en 1713, il fut créé seulement quatre offices de trésoriers-généraux, quatre de contrôleurs-généraux des ponts et chaussées, et un office de directeur général ; on augmenta le nombre des ingénieurs provinciaux, et on nomma des inspecteurs-généraux pour visiter l'état des chemins, des ponts et de tous les travaux, et pour en rendre compte.

Aujourd'hui cette administration est composée d'un directeur-général, d'un conseil formé par MM. les inspecteurs-généraux, dont la résidence est à Paris, de cinq inspecteurs-divisionnaires, appelés à cet effet à Paris, et d'un secrétaire-ingénieur en chef.

Les ingénieurs forment un corps composé d'inspecteurs-généraux et d'inspecteurs-divisionnaires, ayant un certain nombre de départemens sous leur surveillance ; d'ingénieurs en chef, dont le nombre égale au moins celui des départemens, et d'un grand nombre d'ingénieurs ordinaires qui surveillent les travaux sous les ordres des ingénieurs en chef.

Le centre de tous les grands chemins établis dans l'empire Romain, était la colonne milliaire, qu'on appelait *milliarium aureum*, plantée au milieu de Rome ; de là, les chemins se divisaient en un grand nombre de branches qui s'étendaient, ainsi que je l'ai déjà dit, dans toutes les parties de l'empire Romain.

Ceux d'Italie, à en juger par ce qui en reste aujourd'hui, étaient mieux construits que les autres; on le voit surtout dans les voies Flaminienne et Appienne. Ces deux routes et la voie Emilienne étaient les plus grandes de l'Italie. Quoique la voie Appienne ait environ deux mille ans, elle subsiste encore dans son entier pendant l'espace de plusieurs milles, du côté de Fondi, sans parler de plusieurs autres endroits où l'on en trouve des parties très-considérables.

Les pierres qui pavent cette voie sont de couleur de fer, d'une dureté qui surpasse celle du marbre; leur forme est taillée irrégulièrement en pentagone et en hexagone d'un, de deux et même de trois pieds de longueur; elles sont si bien jointes, qu'en plusieurs endroits on ne saurait faire passer entre deux pierres la pointe d'un couteau. Ces pierres ont environ un pied d'épaisseur.

Ces chemins sont généralement plus élevés que le terrain voisin. Dans certains endroits on a coupé des montagnes et même de grandes roches : cela se voit principalement à Terracine, où le rocher est coupé à près de 120 pieds de haut; on a laissé en bas pour chemin la roche plate, mais sillonnée, afin que les pieds des chevaux y puissent tenir sans glisser.

Cette solidité merveilleuse de la voie Appienne et des autres voies Romaines, vient non-seulement de la grosseur et de la dureté des pierres bien placées, mais aussi du grand massif qui les soutient. « J'ai observé entre Vellettri et Sermoneta (dit le Père Monfaucon dans ses *Antiquités*), une partie de la voie Appienne dont on avait ôté toutes les grandes pierres de dessus; ce qui me donna lieu de considérer à loisir la structure de ce massif : le fond en est de moellon ou de blocaille mise en œuvre avec un ciment très-fort et qu'on a grande peine à rompre. Au-dessus est une couche de gravois cimentés de même, entremêlés

de petites pierres rondes ; les grosses pierres qui faisaient le pavé, s'enchâssaient aisément dans cette couche de gravois encore molle. On y trouvait la profondeur nécessaire pour ces pierres d'épaisseur inégale, comme nous avons dit, ce qui n'aurait pu se faire, si ce grand pavé de pierres avait été posé immédiatement sur le moellon : tout ce grand massif, avec les pierres, pouvait avoir environ trois pieds de haut ».

» Dans certains lieux, ces grands chemins avaient des bords pour les gens à pied. Je ne crois pas que ce fut général ; car j'ai vu plusieurs chemins entièrement conservés, où il n'y a aucun vestige de ces bords, qu'on appelait margines. Leur largeur est de moins de deux pieds, et leur hauteur d'un pied et demi ou environ. Ces bords servaient pour les gens de pieds et peut-être pour monter à cheval : les étriers n'étaient point encore en usage ; la largeur ordinaire de ces chemins est d'un peu moins de 14 pieds : ce n'est précisément que ce qu'il fallait pour deux charriots ».

« Les autres grands chemins hors de l'Italie, étaient différemment construits ; il en reste encore des traces en plusieurs endroits, et même une bonne partie de ces chemins s'est conservée dans la Gaule qu'on appelait *Belgique* : ils sont beaucoup plus larges que ceux de l'Italie. »

Pour construire ces chemins, suivant Bergier, on commençait par tracer deux sillons au cordeau ; ces parallèles fixaient la largeur du chemin. On creusait l'intervalle qui se trouvait entre ces deux parallèles, et on étendait les couches des matériaux du chemin dans cette profondeur ; on commençait par y jeter un ciment de chaux et de sable de l'épaisseur d'un pouce ; sur ce ciment on posait, en première couche, des pierres larges et plates de 10 pouces de hauteur, assises les unes sur les autres, et liées par un mortier très-dur; pour la seconde couche, une

épaisseur de 8 pouces de petites pierres rondes avec des tuiles, moellons, plâtras et autres décombres d'édifice, le tout battu dans un mortier mêlé de ciment; pour troisième couche, un pied d'épaisseur d'un ciment fait d'une terre grasse mêlée avec de la chaux. Ces matières intérieures avaient depuis trois pieds jusqu'à 3 pieds et demi d'épaisseur. La surface était formée de gravois liés par un ciment mêlé de chaux, et cette croute a pu résister jusqu'à présent en plusieurs parties de l'Europe.

Ces chemins étaient souvent élevés sur les terres voisines de 10, 15 et 20 pieds de hauteur, et dans des alignemens de cinq à six lieues de longueur, ainsi qu'on en trouve beaucoup dans la Belgique; on dirait, à les voir de loin, dit Bergier, que ce sont des cordons verdoyans, étendus à perte de vue à travers les champs: car les talus de ces levées sont partout couverts d'herbe ou de mousse.

Tous ces grands travaux furent exécutés par quatre espèces d'hommes, en les considérant selon leur état; savoir: les légionnaires, les peuples provinciaux, les artisans, les esclaves ou les criminels. Auguste, obligé, pour maintenir la paix, d'avoir toujours sur pied vingt-cinq légions, et persuadé que l'oisiveté énerve les soldats, les occupait en faisant exécuter, conjointement avec la partie du peuple appelé aux travaux, ces chemins et ces ponts dont l'existence nous étonne encore; les maçons, les tailleurs de pierre, les forgerons et une foule d'autres artisans étaient aussi occupés chacun selon son état: les criminels, la dernière classe des ouvriers, étaient condamnés à travailler à part et pour toute leur vie aux réparations des grands chemins.

Les fonds pour la perfection des chemins étaient si assurés et si considérables, qu'on ne se contentait pas de les rendre commodes et durables, on les embellissait encore; il y avait des colonnes d'un mille à un autre, qui marquaient les distances, des

pierres pour asseoir les gens de pied et aider les cavaliers à monter sur leurs chevaux, des ponts, des temples, des arcs de triomphe, des mausolées, etc.

Telle est l'idée qu'on peut prendre en général de ce que les Romains ont fait peut-être de plus surprenant. Les siècles suivans et les autres peuples de l'Univers offrent à peine quelque chose qu'on puisse comparer à ces travaux, si l'on en excepte le chemin commencé à Cusco, capitale du Pérou, et conduit par une distance de cinq cents lieues, sur une largeur de 25 à 40 pieds, jusqu'à Quito. Les pierres les plus petites dont il était pavé avaient 10 pieds en superficie ; il était soutenu à droite et à gauche par des murs élevés au-dessus du chemin à hauteur d'appui ; deux ruisseaux coulaient au pied de ces murs, et les arbres plantés sur leurs bords formaient une avenue immense.

Les Chinois, qui n'ont pas eu les Romains pour modèles, n'ont pas moins apporté une attention particulière à cette partie de leur administration, et n'ont rien négligé pour rendre leurs grandes routes belles et commodes. Une multitude d'hommes sont sans cesse employés à les rendre unies et souvent à les paver. Ils ont ouvert des chemins par-dessus les plus hautes montagnes, en perçant des rochers, en aplanissant les sommets, et en remplissant des vallées profondes. Dans quelques provinces, les grandes routes sont autant de promenades, bordées de grands arbres et quelquefois de murs élevés de 7 à 8 pieds pour empêcher les voyageurs de passer à cheval dans les terres ; on y laisse des ouvertures qui conduisent aux villages.

Sur ces routes, on trouve à certaines distances, des lieux de repos pour ceux qui voyagent à pied. La plupart des mandarins qui sont rappelés de leurs emplois, cherchent à se distinguer par des ouvrages de cette nature. On rencontre aussi des temples ou des couvens de bonzes, qui offrent pendant le jour une retraite

aux voyageurs. Il se trouve des personnes charitables qui font distribuer, pendant la belle saison, du thé aux pauvres voyageurs, et pendant l'hiver, une sorte d'eau composée, où l'on a fait infuser du gingembre. Les hôtelleries sont très-vastes et très-belles sur les grandes routes : on y trouve aussi, à des distances égales, une sorte de tour carrée, faite en terre, avec des guérites pour des sentinelles, et des étendards qu'on lève pour signal dans les cas d'alarmes. Une loi expresse ordonne d'élever des tours de l'espèce de celle dont je viens de parler, de cinq lys en cinq lys, c'est-à-dire, à chaque demi-lieue; on y établit une garde de soldats, qui est continuellement sous les armes, pour observer ce qui se passe aux environs, et prévenir toutes sortes de désordres.

Magalhens observe que les Chinois ont des itinéraires imprimés qui contiennent les routes, l'ordre des postes, et les distances d'une ville à l'autre. Dans ce livre, tous les grands chemins de la Chine sont divisés en onze cent quatre-vingt-cinq. Ils ont des hôtelleries royales : ces hôtelleries portent le nom de *ye* ou de *chin*, qui signifie lieu de plaisir et de repos. On n'en pourrait pas dire autant des auberges qui sont sur nos grandes routes.

Mais revenons encore aux Romains. La police des routes fut maintenue avec vigueur chez ce peuple, jusqu'aux conquêtes que les barbares firent sur ce vaste empire : bientôt il ne resta plus de ces immenses travaux que ce que le temps même et ces farouches conquérans n'ont pu détruire.

Nos chemins modernes n'ont rien qui puisse être comparé à ceux des Romains, soit pour la direction, la construction ou l'entretien. Dans la plaine, ils vont en serpentant, de manière que, pour parvenir d'un lieu à un autre, éloigné de dix lieues, il faut quelquefois en parcourir quinze, sans qu'on puisse en apercevoir la nécessité.

Dans les montagnes, ils sont d'une rapidité effrayante, et l'on ne trouve pas de ces grands travaux qui cherchent à surmonter les obstacles, pour épargner des fatigues aux voyageurs ; on ne voit rien qui ressemble au percement du mont Apennin en Italie, excepté cependant les routes ordonnées pendant l'occupation pour traverser les Alpes.

Telle est la route du Mont-Cenis. Sa longueur est de 36,934 mètres de Lanslebourg à Suse ; les plus fortes pentes n'excèdent pas six pouces par toise ; plusieurs parties sont de niveau, pour former des palliers qui servent de repos.

Plus de 20,000 mètres de longueur ont été coupés en escarpemens dans des rochers de granit, de schiste ou de poudingues. Une grande partie de cette route se trouve soutenue par des murs très-élevés, percés d'aqueducs pour l'écoulement des eaux. On y a planté des sapins, des mélèses, qui servent à diriger les voyageurs dans le temps des neiges.

On a commencé les travaux du Mont-Cénis en 1803, et on travaillait encore dans les bâtimens de l'hospice au commencement de 1814. L'administration des ponts et chaussées a dépensé 7,460,000 francs pour tous les ouvrages exécutés depuis et compris le nouveau pont de Lanslebourg jusqu'à la sortie de la nouvelle ville de Suse, près de la porte du faubourg des Capucins ; savoir :

6,080,000 francs pour la route, les ponts, les galeries, les parapets, les indemnités de terrain, les frais d'entretien, etc.

1,210,000 francs pour tous les bâtimens qui tiennent à l'hospice, à l'exception du mur de défense et des tours.

Et enfin 170,000 francs pour les refuges et les balises.

On a employé souvent plus de 2,000 ouvriers qui étaient baraqués au pied des coteaux voisins du lac à 1,940 mètres au-dessus de la mer.

M. Derrien, ingénieur en chef, a suivi constamment ces travaux avec d'autres ingénieurs qui y ont été employés successivement, tels que M. Dausse, auteur du projet général, mort inspecteur divisionnaire à Grenoble ; M. Deschamps, aujourd'hui inspecteur général, auteur du pont de Bordeaux ; M. Sevestre, mort ingénieur en chef de la Haute-Vienne ; MM. Latombe, Coïc, Bosquillon, aujourd'hui ingénieurs en chef ; et MM. O'brien, Brière-Mondètour, Reydellet et Poule, ingénieurs ordinaires.

D'autres routes aussi étonnantes sont celle du mont Genèvre, faisant partie de la route d'Espagne en Italie ; et celle du Simplon, où l'on a fait des travaux immenses en construction de murs, en déblais et en escarpemens, tant à ciel ouvert, qu'en galeries, en aqueducs sous les avalanches, et plus de deux cents ponts, tant grands que petits.

Les travaux du Simplon ont été commencés le 12 octobre 1800 par M. Lescot, ingénieur en chef, ayant sous ses ordres MM. Cordier, Polonceau, Coïc, Baduel et Plainchant. La rigueur de la saison, les précipices que l'on rencontrait à chaque pas, n'ont pu arrêter le zèle de ces courageux ingénieurs.

Quand la route entière fut tracée, une partie fut exécutée aux frais et sous la direction du gouvernement d'Italie, depuis Algaby jusqu'à Domo-d'Ossola, sur une longueur de 35,000 mètres. L'autre partie de $36{,}000^{m}$, comprise entre Algaby et Gliss, fut faite par les ingénieurs français ; en sorte que la longueur totale de la route est de $71{,}000^{m}$. Son point le plus élevé est de $2{,}005^{m}$ 56^{c} au-dessus du niveau de la mer.

Enfin, à l'époque heureuse du baptême de l'auguste Prince duc de Bordeaux, on a livré au public la nouvelle route de Tarare, faisant partie de la route royale de première classe de Paris à Marseille. Le passage de cette montagne, qui présentait autrefois des pentes énormes, offre aujourd'hui aux voyageurs

et au roulage une circulation aussi sûre que commode. Son tracé contourne avec une pente uniforme d'environ quatre centimètres et demi par mètre, le flanc de la montagne, sur une longueur de deux lieues. Toutes les eaux des fossés et du talus de la côte passent sous la route au moyen de plusieurs aqueducs pratiqués de distance en distance. La largeur totale se compose de 14 mètres, savoir : 6 mètres pour une chaussée en empierrement ; 5 mètres pour deux accotemens, et 3 mètres pour un fossé et une banquette destinée aux piétons. Elle est séparée de la voie charretière par une file d'arbres espacés de 10 mètres en 10 mètres, et garantis par un même nombre de bornes en pierre de taille, qui servent en outre à empêcher les voitures de tomber dans le précipice.

Les projets et les travaux de cette partie de route qui marquera parmi les constructions modernes, ont été exécutés par M. Laguérenne, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées à Lyon, sous les ordres et la direction de M. Cavenne, ingénieur en chef-directeur dans le département du Rhône.

On distinguait, chez les Romains, trois sortes de chemins principaux ; savoir : les chemins militaires ou chemins publics, *viæ militares* ou *viæ publicæ*, qui allaient de Rome à toutes les grandes villes de l'empire.

Les chemins qu'on appelait *viæ vicinales*, qui allaient d'une ville à un bourg ou village, et les chemins privés, *viæ privatæ* ou *agrariæ*, qui servaient de communication pour aller à certains héritages : ce que nous appelons *chemins communaux*.

Les modernes ont à peu près la même division. Les chemins à la charge du Gouvernement sont divisés en trois classes : la première est celle qui renferme les chemins appelés autrefois *chemins royaux*, et qui traversent la France dans toute son étendue. Ils sont au nombre de 13 qui partent tous de Paris et

aboutissent aux villes suivantes : Calais, Anvers, Mayence, Strasbourg, Genève, Turin, Marseille, Toulon, Perpignan, Bayonne, Rochefort, Brest et Cherbourg.

La largeur de ces chemins, qui avait été réglée à 60 pieds par arrêt du conseil du 3 mai 1720, ne s'observe ainsi qu'aux abords des grandes villes et principalement près Paris. Dans les autres localités elle varie généralement entre 16 et 10 mètres, suivant les difficultés du terrain ou par rapport à d'autres considérations.

Nous allons donner les différentes manières de construire les chemins, selon la nature des lieux où ils passent.

On les construit dans la plaine ou à mi-côte ; la forme des chemins est bombée, plate ou creuse.

La partie du chemin qu'on appelle *chaussée* est faite en pavé ou en empierrement.

Examinons successivement ces différentes constructions.

Un ingénieur ne doit jamais commencer à tracer une route sans avoir préalablement parcouru plusieurs fois toute la longueur du pays par différens endroits. Lorsqu'il en a déterminé la direction, il doit fixer les principaux lieux où elle doit passer, en mesurer les distances, exprimer, dans la mesure des toises courantes, la qualité du terrain, sa disposition, les lieux difficiles, les rivières et ravines qu'il y a à traverser, les ponts, chaussées, murs de soutenement qu'il y aura à faire, leurs dimensions, etc., etc., afin que, sur ce détail et d'après les nivellemens nécessaires, on puisse faire sur-le-champ une estimation juste de la longueur de la route et des travaux à ordonner.

Cette estimation faite, on doit dresser le devis, où l'on détermine la nature de tous les travaux, et ce qu'ils coûteront.

CHEMINS DANS LA PLAINE.

La position, la longueur et la largeur du chemin étant déterminées, on trace dans cet espace, des fossés propres à recevoir la fondation des murs qui doivent soutenir le terrain, si l'on juge nécessaire d'établir ces constructions pour la plus grande solidité du chemin ; et au-delà des murs on dispose un espace propre à faire un fossé, afin de servir à l'écoulement des eaux de pluie, et de tenir la chaussée desséchée. M. Trèsaguet, dans son *mémoire sur les chemins*, propose la suppression des fossés, en mettant le chemin au-dessus du sol de la plaine, de 18 ou 20 pouces ($0^m,49$ ou $0^m,54$) de hauteur, et en formant une levée de la largeur prescrite et uniforme. Dans tous les cas de remblais et de déblais, dit-il, les eaux ne séjourneront pas davantage sur le chemin, puisqu'elles auront également une partie plus basse pour s'écouler. (*fig. 2e au bas de la planche XXVIII.*) Par cette disposition, les chemins seront de même largeur, et les arbres s'aligneront toujours, restant à même distance de l'arête de l'accotement, et à même hauteur au-dessous du niveau du dessus du chemin. Je ne puis être de l'avis de cet ingénieur. Je regarde les fossés comme absolument nécessaires à la conservation des routes, surtout lorsqu'on ménage une pente insensible à l'écoulement des eaux, et de petits fossés de dérivation, pour diriger les eaux dans les terres.

La terre que l'on tire du fossé et celle qui fait place à la fondation des murs, doivent être jetées dans le milieu du chemin entre les deux murs, en sorte qu'elle fasse une pente fort douce de chaque côté : c'est le bombement du chemin. Cette pente doit être réglée par un piquet planté dans le milieu de la chaussée. Après avoir déterminé la hauteur des murs de soutenement par d'autres piquets plantés au-dessus du rez-de-chaussée de la plaine,

on aligne la hauteur des pentes qui doivent terminer l'aire du chemin.

Les Romains, dans leurs grands chemins, qui pour la plupart avaient 60 pieds de large, donnaient 20 pieds au pavé du milieu : en France, nous n'en donnons que 18, ce qui n'est pas suffisant; car lorsque deux voitures, surtout les diligences, se rencontrent, il faut presque toujours que l'une de ces deux voitures, et souvent toutes les deux, mettent une roue sur l'accotement; dans les chemins pavés, il se pratique un ressaut entre la bordure et l'accotement, ressaut qui fait très-souvent verser les voitures, surtout lorsqu'elles sont sur des roues élevées.

La maçonnerie des murs de soutenement doit être fondée quelques pouces plus bas que le fond du fossé qu'on doit faire, afin d'éviter que les fondations ne soient dégravoyées par le courant des eaux du fossé. Dans l'emploi des matériaux, on observera de conserver les plus grosses pierres, et les plates, pour le fondement des murs, assises seulement sur le terrain sans mortier, et sur cette assise on posera le mortier pour y ranger la seconde assise. Le mur de soutenement doit être couronné de pierres plates, couchées de champ.

Sur cet intervalle de 60 pieds ($19^{m},490$), on prend pour la chaussée 18 pieds ($5^{m},85$), pour les accotemens de part et d'autre 24 pieds ($7^{m},796$), et le surplus sert pour les fossés et les berges. Lorsque l'espace déterminé pour la chaussée est préparé, on pose le couchis, qui est le sable ou le terrain graveleux.

M. Trèsaguet parle, dans son Mémoire, de quelques parties de chemin de niveau, situées en pays de montagnes sur les sommets ou dans les vallons, dont le fond a quelque largeur. Ces chemins, suivant les réglemens et l'usage, sont accompagnés de fossés pour l'égoût des eaux, comme dans la fig. 1.re, au bas de la pl. XXVIII.

CHAUSSÉES PAVÉES.

On se sert, en France, de trois sortes de pavés : la première espèce et la plus belle est celle de grès ; ce sont des pierres taillées à éclats avec le marteau, de 7 (0m,189) à 8 pouces (0m,217) en tous sens, qui forment, comme autant de dés, dont on pave en plusieurs endroits les chaussées, et particulièrement du côté de Paris.

La deuxième espèce est celle des cailloux de rivière.

La troisième, celle des pavés à pierre de rencontre.

Tous ces pavés se posent sur la forme de la chaussée, préparée et alignée sur un couchis de sable de sept à huit pouces d'épaisseur. Le sable de rivière est préférable à celui de mine.

On doit battre auparavant l'aire de la forme sur laquelle le pavé doit être assis, et le bombement de cette forme doit être celui que l'on doit donner à la chaussée en pavé : ce bombement est ordinairement de 6 pouces (0m,162) dans la plaine, pour les chaussées de 6 mètres de largeur.

Lorsque la forme est bien dressée, on pose les pavés : à mesure qu'on les pose, le paveur en marque la place avec la paume de son marteau, pour les ranger les uns suivant la disposition des autres, et être ensuite battus avec la hie, après en avoir garni les joints avec du sable ; ce qui leur donne enfin une consistance qui les rend capables de supporter le rouage des plus pesantes voitures.

Les bordures du pavé doivent être posées en carreaux et boutisses alternativement, chacune de 15 (0m,406) à 18 pouces (0m,507) de long, de 12 (0m,325) à 15 pouces (0m,406) de large, et d'un pied (0m,325) de hauteur environ. On doit assurer l'aire du pavé par des traverses en pavés de même échantillon que les bordures; ces traverses parcourent le chemin, tantôt en

écharpe, et tantôt carrément sur sa largeur, suivant la disposition des lieux : contre ces traverses on plante les pavés ou cailloux, et quand, par l'usage, les pavés se désunissent, la suite de la désunion ne peut pas se faire sentir au-delà des traverses qui doivent être espacées de 2 toises (3m,898) au plus.

Les six premiers profils du haut de la pl. XXVIII, indiquent différens modèles de chaussée à construire en pays de plaine. Leur titre désigne particulièrement les localités où on peut les employer. Le 2.e nous paraît devoir être réjeté, parce qu'il est susceptible de procurer un chemin toujours humide et peu viable. Les 3.e, 4.e et 5.e profils du milieu de la même planche présentent d'autres modèles, pour d'autres situations. On doit rejeter le 4.e, et n'employer le 3.e que dans des cas où on ne peut faire autrement, comme sur des cols de forte côte, ou pour franchir quelques seuils de peu de longueur. Ces profils présentent une coupure désagréable à l'œil du voyageur, et qui a l'inconvénient de s'encombrer facilement de neige pendant l'hiver.

CHAUSSÉES D'EMPIERREMENT.

Lorsqu'on n'a point de pavé, les chemins se construisent en empierrement, et c'est, nous le croyons, la meilleure construction, quand elle est suivie avec soin.

La largeur de la route doit être préparée, ainsi que nous l'avons indiqué plus haut, en laissant 12 pieds (3m,896) d'accotement de chaque côté de la chaussée, en creusant le lit d'empierrement de 12 pouces (0m,32), bombé de 6 pouces (0m,162). Cette même pente ayant été prolongée dans les accotemens pour faciliter l'écoulement des eaux, on établira de chaque côté de la chaussée un rang de fortes bordures suivant les pentes; les pierres auront au moins 10 à 12 pouces de largeur, sur 8

(0^m,217) à 9 pouces (0^m,244) d'épaisseur. Elles seront posées de droit alignement en dehors, et inclinées à quarante-cinq degrés du côté de l'encaissement. Cette méthode d'incliner les bordures vers l'intérieur n'est pas suivie par les ouvriers qui, au contraire, les inclinent en dehors. C'est cependant de cette inclinaison que dépendent la bonne tenue des bordures et la solidité de la chaussée. Ces bordures sont ensuite recouvertes par le cailloutis de la seconde couche, de manière qu'il n'y ait que leurs arêtes extérieures d'apparentes, et qu'elles s'accordent parfaitement avec le dessus de la deuxième couche. On observera de laisser de 9 pieds (2^m,924) en 9 pieds une de ces bordures qui ait au moins 9 pouces (0^m,244) en dehors de l'encaissement, pour repousser les roues des voitures, et pour les empêcher de faire des rouages le long des bordures.

On posera ensuite la première couche dans le fond de l'encaissement, en arrangeant les pierres à la main, de champ, en liaison, sans vide et de manière que leurs surfaces les plus planes soient en bas et leurs pointes en haut ; ensuite on remplira successivement les interstices jusqu'à l'épaisseur prescrite pour la première couche, qui doit être au moins de vingt-cinq à trente centimètres, et l'on battra le tout à la masse, de façon que les pierres de la surface n'excèdent pas la grosseur de 3 pouces cubes, et que la première couche conserve toujours son épaisseur de 9 pouces (0^m,244) au moins après le battage.

La seconde couche sera faite avec la pierre la plus dure que l'on pourra trouver dans les carrières ; elle sera cassée à la grosseur d'un pouce cube, sur une pierre servant d'enclume, et régalée ensuite sur la première couche avec la pelle, pour former régulièrement le bombement prescrit, de manière que la plus haute épaisseur au milieu soit de 18 pouces (0,507),

y compris le bombement; 12 pouces ($0^m,32$) aux bordures, ce qui produit 21 pouces ($0^m,57$) d'épaisseur réduite (*fig.* 3, *au bas de la planche XXVIII*). L'ingénieur Trèsaguet a prétendu que cette épaisseur des chaussées pouvait être réduite à moitié de dépense, en faisant les chaussées d'une même épaisseur d'une bordure à l'autre, et qu'avec un entretien suivi, elles résisteraient long-temps. On ne peut pas sans cesse et chaque année réparer entièrement les routes, et l'événement a prouvé que cette construction faite avec une économie toujours funeste, et dont il ne devrait jamais être question pour ces sortes de travaux, ne valait rien, puisque quelques années de la révolution ont entièrement détruit ces routes, tandis que les siècles n'ont pu anéantir celles des Romains.

Les chaussées en empierrement, lorsqu'elles sont construites avec soin, sont très-solides et n'ont point de ces ressauts qui brisent les voitures et tourmentent les voyageurs. On s'est bien trouvé aussi de faire répandre, sur cette dernière couche dont je viens de parler, du sable ou du détriment des pierres de carrières, lorsqu'il s'en trouvait à la portée. Ce sable se mêle dans les interstices, qu'il achève de remplir, et forme une espèce de croûte imperméable à l'eau.

Lorsque l'on rencontre dans la projection des routes des terrains aquatiques, comme étangs, lacs, etc., on ne peut trop prendre de précaution.

Il faut, 1° commencer par tracer la route par des pieux plantés dans l'eau et espacés de 2 ($3^m,898$) à 3 toises ($5^m,847$); 2° faire un profil de la profondeur de l'eau sur la longueur de la route, pour marquer et supputer la dépense qu'entraîneront les fondations dans ces lieux de mauvaise consistance, jusqu'à la superficie des plus hautes eaux; 3° reconnaître, par le secours des sondes, les lieux qui ont le plus de consistance, pour les

fonder avec moins de dépense, sans cependant rien sacrifier sur la solidité et sur la vraie direction.

On doit commencer ces sortes de travaux dans le temps que les eaux sont les plus basses.

On borde la chaussée d'un rang de palplanches à rainures, battues à refus du mouton, et leurs têtes assurées par deux longrines, arrêtées de distance en distance par des liens ou étriers, qui prendront dans le dessous du chemin. Le derrière des palplanches doit être garni, sur toute l'aire du chemin, de fascines, sur lesquelles on poussera une hauteur de remblai, bordée derrière les palplanches aussi d'un parement de fascines.

Le terrain, dans cet endroit, peut se trouver d'une si mauvaise consistance, que les fascines seules dans le fondement ne suffiraient pas pour soutenir l'effort des terres et des décombres qu'on mettrait au-dessus. Pour lors, sur le travers du chemin, on peut ranger de longs saucissons, au-dessus desquels on placera, sur la hauteur de 5 (0^m,135) à 6 pouces (0^m,162), un lit de graviers ou de bonne terre, qui assurera très-parfaitement l'aire de la voie.

L'usage de la route exige quelquefois qu'on y établisse des bords qui soient de plus de durée que ceux faits avec des fascines : alors on place sur les étriers qui couvrent les palplanches, un à deux rangs de madriers de 3 (0^m,081) à 4 pouces (0^m,108), sur 2 (0^m,650) à 3 pieds (0^m,975) de large. On peut les placer dessus un mur dont le parement sera construit selon la durée que l'on voudra donner au chemin.

Quand le terrain est profond et de mauvaise consistance, on établit la chaussée sur un grillage qui tantôt est piloté et tantôt garni, seulement sur le devant des pilots, de bordages ou de palplanches.

Après avoir établi cette base, on garnit les vides ou chambres, de grillages, tantôt de pierres et tantôt de fascines, suivant les circonstances et selon la facilité de se procurer des matériaux : cela se fait jusqu'à la hauteur des eaux de l'étang ou du lac, afin d'établir dessus les bordures telles qu'elles doivent être pour soutenir fortement les terres qu'on portera sur la voie.

CHEMINS EN PAYS DE MONTAGNES ET A MI-CÔTE.

Lorsque vous sortez de la plaine pour traverser une ou plusieurs montagnes, les rampes ne peuvent pas toujours être en droite ligne ; et si l'ingénieur a pour objet de conduire sa route au sommet, il doit profiter de tous les moyens que les sites lui permettent pour adoucir les rampes et sauver aux voyageurs, non seulement les dangers réels, mais même les simples apparences du danger.

Le chemin dans ces lieux est bordé, pour l'ordinaire, du côté du bas de la rampe, par un mur de soutenement. Tantôt, suivant la disposition du terrain, on se contente de faire toute la tranchée dans le solide de la montagne ; tantôt, traversant les rochers, on étabit de l'un à l'autre des décharges et des cintres surbaissés pour supporter les murs de soutenement. Si on ne peut y établir une route ni par un mur de soutenement, ni par une charpente, on perce le rocher qu'on rencontre ; et cette méthode est la plus certaine.

Les murs de soutenement, pratiqués pour supporter le chemin sur la rampe d'une montagne, sont faits quelquefois à pierre sèche : ceux qui sont faits à chaux et à sable, ne sont pas toujours les meilleurs, parce que le mortier qui ferme le joint des pierres, empêche les eaux de filtrer au travers des terres, qui les retiennent comme une éponge.

Les eaux, dans le temps des pluies, qui descendent de la rampe de la montagne, s'imbibent dans le terrain, remplissent le fondement des murs, désunissent le mortier, sourcillent enfin entre les joints, et entraînent par-là les murs par l'effort des terres qu'ils soutiennent.

Quelque précaution que l'on prenne pour pratiquer des barbacanes ou chantepleures pour l'écoulement des eaux, s'il se rencontre des sources dans cet endroit de la montagne, toutes ces précautions ne donneront pas à la route une parfaite solidité.

Un mur de soutenement fait en pierre sèche, sans aucune liaison entre les joints, est donc à préférer à une bonne maçonnerie, en ce que les eaux s'échappent entre les pierres, et que la route est plus tôt desséchée.

Les murs de soutenement en pierre sèche doivent être assis en bon fonds. Il faut leur donner une pente de quelques pouces du côté du haut de la montagne, afin qu'ils soient parfaitement bien assis dans le sol; ensuite on les élèvera aplomb du côté des terres ou du remblai, et en dehors, on leur donnera un talus du cinquième de la hauteur. La largeur par le haut doit être pour le moins, de 2 pieds ($0^{m},630$), élevée et couronnée de pierres plates couchées de champ, sur environ les deux tiers de la largeur du mur. L'arrangement des pierres doit être tel, que les plus grosses et les plates soient établies dans son fondement, les longues à son parement; ce qui formera une espèce de boutisse; et les plus petites dans le corps du mur : le derrière des murs doit être garni des moyennes.

Les terres seront ensuite rangées derrière avec la pelle ; on les fera descendre du haut de la montagne, et les pierres qu'on trouvera parmi les déblais, seront couchées derrière les murs.

Le remblai des terres doit se faire jusqu'à la hauteur des murs de soutenement.

Il n'est pas toujours nécessaire de soutenir le chemin sur la rampe d'une montagne par des murs : quelquefois le terrain de la montagne est tel, qu'il suffit de faire la voie plus large, afin que si les pluies causent des éboulemens, la route ait encore sa largeur; alors il faut soutenir, autant qu'il est possible, les terres par des haies vives et des arbres, dont les racines remplaceraient, par la suite, le mur de soutenement.

S'il se rencontrait, comme cela arrive quelquefois, des escarpemens de rochers laissant un ravin à franchir, il faut, si la distance le permet, établir des décharges ou cintres, qui, partant d'un roc à l'autre, donnent le moyen d'y établir un mur de soutenement; mais il est très-difficile de prescrire les travaux qui doivent vaincre les obstacles que l'on rencontre à chaque instant dans les pays de montagne : c'est au génie de l'ingénieur à créer les moyens et à applanir les difficultés.

Il faut en revenir aux chemins ordinaires à mi-côte. Je vais citer une partie du mémoire de M. Trèsaguet, qui était très-habile dans les travaux de ce genre, quoique souvent on ne puisse pas être de son avis.

« On s'est attaché particulièrement à tourner les montagnes pour réduire les plus fortes pentes à 5 pouces ($0^m,16$) par toise, et l'on ne se détermine à donner cette pente que lorsqu'il est impossible de la faire moindre, sans tomber dans des remblais ou déblais trop considérables, ou sans être obligé de donner de trop grands développemens, dont l'extrême longueur ne serait pas compensée par une pente plus douce. Les pentes les plus ordinaires doivent être de 2 ($0^m,05$), 3 ($0^m,08$) et 4 pouces ($0^m,11$). On s'est assujéti, dans les montagnes dont le développement allonge nécessairement le chemin, de diviser la hauteur totale en un certain nombre de pentes, disposées de façon que les pentes les plus fortes soient au commencement de la

montée, et qu'elles diminuent à mesure que l'on approche du sommet. Par exemple, une côte de 600 toises de développement, et de 100 pieds (48^{m},626) de hauteur totale, peut être montée sur une pente uniforme de 3 pouces (0^{m},08) par toise; mais, quoique cette pente soit facile sur une petite longueur, elle devient fatigante à mesure qu'elle s'allonge, et on doit préférer de diviser cette montée en cinq pentes, savoir: la première de 100 toises (194^{m},904), sur 4 pouces (0^{m},11) de pente; la seconde, de 100 toises (194^{m},904), sur 3 pouces 5 lignes (0^{m},10); la troisième, de 110 toises (214^{m},394) de longueur, sur 3 pouces 3 lignes (0^{m},09); la quatrième, de 140 toises (272^{m},065) de longueur, sur 2 pouces 8 lignes (0^{m},07); la cinquième et dernière, de 150 toises (292^{m},356), sur 2 pouces (0^{m},05); afin que la résistance diminue en raison de la diminution des forces du cheval affaibli par un long tirage: au lieu que si la pente eût été de 3 pouces (0^{m},08), uniformément sur toute la longueur, la résistance aurait été égale à la fin comme au commencement, et les forces du cheval beaucoup moindres. On doit observer de faire des repos de 20 toises (38^{m},981) de longueur ou environ, à tous les changemens de pente, que l'on doit placer, autant qu'il est possible, aux tournans des angles saillans ou rentrans dans la montagne, ce qui fait que leur longueur ne peut être assujétie à aucune proportion entr'elles et les hauteurs. Les chemins à mi-côte doivent être coupés au penchant de la montagne, sur 42 pieds (13^{m},643) de largeur, avec banquettes de 3 pieds (0^{m},975) au sommet, et plantés d'arbres seulement du côté du vallon.

« M. Trèsaguet préfère, d'après l'expérience qu'il dit en avoir faite, les chaussées creuses, comme celles de la (*pl. X, fig.* 3, *et pl. XXVIII, fig.* 5) aux chaussées bombées (*pl. X, fig.* 4, *et pl. XXVIII, fig.* 4 *et profil au-dessus de la fig.* 1re),

et aux chemins inclinés sur toute leur largeur (*planche X, fig.* 5, *et planche XXVIII, profil au-dessus de la fig.* 2), pour éviter les fossés pratiqués au pied du talus des déblais servant à l'écoulement des eaux : les eaux rassemblées et resserrées dans ces rigoles ou fossés, s'écoulant avec la plus grande vitesse sur des pentes de 3 (0m,081) et 4 pouces (0m,108), entraînent nécessairement les terres, et forment des ravins qui rendent bientôt le chemin impraticable : quelque soin que l'on puisse prendre de leur entretien, les réparations peuvent être détruites par le premier orage.

« Le seul moyen d'arrêter ces désastres est de revêtir les fossés ou rigoles de perrés sur les côtés, et de paver le fond ; mais cet excédent de dépense ne remédie pas assez à l'écoulement des eaux au côté opposé. Les eaux entraînent les empatemens du remblai, de façon qu'en très-peu de temps il ne reste, pour ainsi dire, que la chaussée isolée, les accotemens étant ravinés et impraticables pour les voitures.

« La chaussée creuse (*fig.* 3, *planche X, et planche XXVIII, fig.* 5, *et profil au-dessus des fig.* 6 *et* 7) remédie à tous ces inconvéniens, en réunissant les eaux dans son milieu ; elle est plus économique, en ce qu'elle supprime la dépense de la fouille et du revêtement du fossé, ainsi que du déblai de sa largeur sur toute la hauteur des talus ; elle est en outre la plus sûre pour les voyageurs par sa forme et surtout par la banquette du côté du précipice. On ne peut pas employer cette banquette pour les chaussées bombées, parce qu'alors il faudrait un second fossé au pied du talus de la banquette revêtu comme l'autre, sans quoi, les eaux, coulant sur la longueur de l'accotement, l'auraient bientôt détruit. La *fig.* 5, *planche* X, a le même inconvénient que le fossé. Outre que sa forme est désagréable à la vue, elle est on ne peut plus incommode aux voitures toujours

penchées sur un plan incliné de 5 à 6 pouces (0^m,162) par toise, parce qu'il faut que la pente sur la largeur soit toujours plus forte que sur la longueur, pour déterminer les eaux à s'écouler dans les fossés : sans quoi, elles suivraient la pente la plus rapide de la longueur, les fossés deviendraient inutiles, et les chemins seraient ravinés et emportés.

» Pour prévenir les dégradations que pourrait faire l'écoulement des eaux dans les chaussées creuses, et les ravins sur les accotemens de ces chaussées et sur celles bombées, on forme des écharpes, de distance en distance, déterminées aussi par la roideur des pentes ; savoir : de 10 toises en 10 toises (19^m,490) sur les pentes de 4 (0^m,108) à 5 pouces (0^m,135), de 15 toises (29^m,236) sur celles au-dessous de 3 pouces (0^m,081). Les écharpes disposées suivant la pl. XXVIII (*fig.* 6 *et* 7), forment un angle de 45 degrés avec la ligne du chemin, et sont composées de libages ou grosses bordures posées en carreaux et boutisses, et de champ, de façon qu'elles soient au moins de 12 pouces (0^m,325) encastrées dans une tranchée faite pour les recevoir. Par cette disposition, leur surface n'excèdera pas celle de la chaussée et des accotemens, et ne causera aucun choc aux voitures. On pose aussi, de 12 en 12 pieds (3^m,898), des bordures saillantes, pour empêcher les rouliers de conduire l'une des roues le long de la chaussée ; ce qu'ils feraient, sans cette précaution, dans les descentes, pour retenir les voitures. Cette pratique, usitée par tous les voituriers, dégrade les chaussées par l'ornière qui se forme, et met les bordures en l'air et sans soutien.

» Ces écharpes suffisent dans les chaussées creuses, pour arrêter les dégradations que pourrait faire l'écoulement des eaux, lorsque la pierre cassée est très-dure ; mais lorsqu'au contraire elle est tendre et se réduit en sable, les eaux l'entraînent facilement, et déchirent la chaussée. Dans ce cas, on y remédie par

un pavé de 6 pieds (1^m,949) de largeur, dans le milieu de la chaussée, suivant la même courbure de l'empierrement : on a soin de faire déborder alternativement une bordure de ce pavé, comme des pierres d'attente, pour former liaison avec l'empierrement ou le cailloutis.

» Lorsque les pentes sont longues, et qu'il se rassemble une trop grande quantité d'eau dans ces fossés, on les en dégage par des cassis qui traversent l'accotement, et conduisent les eaux hors le chemin.

» Ces cassis sont construits comme les chaussées creuses, sur une cerce de 4 (0^m,11) à 5 pouces (0^m,14) de flèche ; ils ont 6 (1^m,949) à 9 pieds (2^m,923) de largeur, proportionnée à la quantité d'eau qu'ils doivent recevoir, et aussi pour que les voitures ne souffrent point du choc en les traversant. Lorsque ces cassis se déchargent sur l'empatement des remblais, ils sont prolongés sur cet empatement, jusqu'à la rencontre du terrain ferme : sans quoi, les eaux ravineraient et entraîneraient les terres rapportées. On a, d'ailleurs, le plus grand soin de détourner les eaux étrangères qui pourraient y aboutir, par des fossés de décharge, petites digues, etc. : de façon qu'il ne doit y couler d'eau que celle de la pluie qui tombe sur la surface, et non celle qui pourrait provenir de l'égoût des terres ou autres chemins de traverse ».

C'est le moment de placer ici quelques réflexions, tirées d'un Mémoire de M. Cunnings, sur la forme de chemins la plus avantageuse, sous le rapport seulement de l'effet des voitures sur leur surface.

« On a généralement préféré les routes convexes ou bombées. D'abord, on suppose qu'elles sont plus sèches que les chemins plats, à cause de la pente de leurs côtés, qui donne à l'eau un courant plus fort que celui qu'on obtiendrait en le prolongeant

dans la direction de la route. En second lieu, la forme extérieure des routes représentant une arche, on a imaginé qu'elles jouiraient aussi de la propriété de soutenir des fardeaux plus pesans que n'en supporteraient des chemins de toute autre forme; mais il ne faut pas oublier que si les culées, qui soutiennent tout l'effort de la pression latérale et empêchent l'arche la mieux construite de s'affaisser, venaient à fléchir, elles ne pourraient même soutenir son propre poids. Si donc la route convexe n'est pas calculée pour résister à la pression latérale, et empêcher l'éboulement ou le débordement des matières constitutrices du chemin, elle n'a rien à gagner à sa ressemblance avec l'arche d'un pont. Quant à l'avantage de faire couler les eaux pluviales vers les côtés, on n'en jouit que quand les routes viennent d'être achevées, et tant qu'elles conservent cette surface égale qu'on leur suppose dans la théorie; mais dès qu'il y a quelques ornières de formées, elles arrêtent l'eau qui s'écoulait vers les côtés, et l'étendent dans le sens de la longueur de la route. Comme on n'a pas construit les routes de manière à ce que l'eau pût s'écouler de ces ornières, elle y reste, et pénètre chaque jour davantage les substances qui forment les chemins, jusqu'à ce qu'enfin, la croûte du chemin étant usée, les roues pénètrent les substances tendres, et forment des ornières profondes qui s'élargissent à la longue, et deviennent des fossés dangereux. Tous ces inconvéniens proviennent cependant de la forme convexe qui force les voitures à tenir toujours le haut du chemin : ainsi, les avantages imaginaires de la convexité des routes s'évanouissent dans la pratique, et font place à des maux réels.

» Quand le haut d'une route convexe est occupé par une ou plusieurs voitures, si d'autres voitures veulent passer en même-temps, il faut qu'elles passent sur le penchant de la route d'un côté ou

de l'autre : alors leur poids et les ébranlemens qu'elles donnent au pavé, forcent les substances les plus dures à déborder sur les côtés, et à quitter insensiblement le milieu du chemin vers les extrémités où elles ne peuvent être d'aucun service.

» Les chemins plats qui ont un même niveau depuis un bord jusqu'à l'autre, sont bien meilleurs pour voyager que les routes convexes: chaque portion de leur largeur entière étant également commode, est également fréquentée et usée également. Comme il n'y a point là de pente latérale ainsi que dans les routes convexes, les substances dont la route est formée ne tendent pas à s'éloigner progressivement de leur place; il ne s'y forme pas d'ornières profondes, parce que la route est également fréquentée sur toute sa largeur, et que les voitures qui la parcourent étant répandues également et volontairement sur toute sa surface, l'empreinte de chaque roue, quoiqu'à peine sensible, devient une petite rigole pour conduire les eaux pluviales le long de la route; et c'est ce qui peut arriver de plus heureux, lorsqu'on a eu soin de donner au chemin une pente convenable et de pratiquer d'espace en espace, à travers la route, de petites rigoles propres à décharger les eaux.

» Il faut remarquer que chaque voiture prenant un chemin différent sur la même route, chaque roue forme une nouvelle petite rigole presqu'insensible, pour faire écouler les eaux dans le sens de la longueur d'une route plate, et qu'ainsi le chemin est d'autant plus sec, qu'il y passe plus de voitures. Donc le nombre de voitures qui roulent sur un chemin plat dans des temps pluvieux, tend à le sécher et à l'améliorer; au lieu que, sur une route convexe, le passage fréquent des voitures tend à sa destruction immédiate.

» En effet, quiconque prend la peine d'observer que les eaux coulent presque toujours longitudinalement dans les ornières des

routes convexes, quoique la pente soit incomparablement plus forte du milieu vers les bords, sentira bientôt la nécessité de construire des routes de manière à ce que les eaux coulent dans le sens de leur longueur, au lieu de se donner tant de mal et à si pure perte pour tâcher de les faire couler du milieu vers les côtés. Ainsi les chemins plats ont une supériorité marquée sur les routes bombées.

» Examinons maintenant les routes concaves. Supposons une grande auge de bois ou de pierre d'une largeur uniforme, et remplie dans toute sa longueur, qui est indéfinie, à une profondeur quelconque, de substances propres à former une route, et assez moites pour pouvoir se rapprocher et prendre de la cohérence ; supposons ensuite qu'un cylindre pesant, aussi large que l'auge, y roule à plusieurs reprises : on sent que les substances renfermées dans l'auge ne peuvent pas s'échapper par les côtés, à cause de l'obstacle qui les maintient ; toute la force du cylindre s'appliquera à les comprimer perpendiculairement, par conséquent à les consolider, à les rapprocher, et à donner à leur attraction réciproque la plus grande énergie. Comme, dans ce cas, le mouvement latéral ne peut plus avoir lieu dès que les substances ont été une fois comprimées, et que rien ne peut plus changer leurs positions relatives, elles deviendront si dures, si compactes, si incompressibles, si unies, que les roues pourront rouler dessus avec autant de facilité que sur du fer ou de la pierre ; et si elles restent sèches, elles formeront le meilleur chemin possible pour les voitures ; mais si l'on vient à enlever l'obstacle qui s'opposait à la pression latérale, ces mêmes substances se porteront insensiblement vers les bords, chaque fois qu'une roue passera dessus ; elles ne seront plus ni si compactes ni si fermes, que quand toute la pression était appliquée perpendiculairement, et

que rien ne pouvait changer leurs positions respectives ou rompre leur attraction.

» Tout ceci ne sert qu'à faire sentir la nécessité d'assujétir les bords des routes par des murs, des culées, ou toute autre manière de résister à l'effort de la pression latérale. » (*Voyez la planche XXVIII où l'on trouvera les différens profils de chemin.*)

On terminera cet article en rapportant quelques observations adressées en 1802 à l'administration des ponts et chaussées, qui peuvent provoquer d'autres réflexions utiles.

On insère dans les devis, le plus souvent à tort, des conditions trop onéreuses pour les entrepreneurs de travaux publics; car, il est à craindre que dans le cas où ils éprouveront trop de perte, on ne puisse les faire marcher et remplir leurs obligations.

Il ne faut pas exiger trop d'économie, surtout quand elle conduit à un défaut de solidité, puisqu'on travaille non seulement pour le présent, mais encore pour l'avenir.

Plus de vingt siècles se sont écoulés, et les chemins des Romains existent encore, dans certaines parties, presque dans leur entier, tandis que quelques années de révolution ont anéanti nos routes. Nos chemins ont tout au plus un pied d'épaisseur; ceux des Romains en avaient trois ou quatre; leurs chars étaient à deux roues ou à quatre; ceux à deux roues étaient seulement attelés de deux ou trois chevaux, et ne pouvaient charger que deux ou trois cents; les chars à quatre roues pouvaient être attelés de huit chevaux, et ne pouvaient porter plus d'un millier pesant. En France, les chariots de roulage portent dix fois davantage. On a fait, il est vrai, des lois répressives; mais elles sont restées sans exécution. Ainsi, les chaussées romaines avaient un massif solide d'au moins trois pieds d'épaisseur, et n'avaient à

supporter qu'un roulage d'un millier pesant au plus ; les chaussées françaises n'ont pas un pied d'épaisseur réduite ; elles sont d'ailleurs d'une construction peu solide, et elles ont à supporter un roulage sept à huit fois plus considérable.

Les formes de nos routes sont vicieuses ; la chaussée est trop étroite, les accotemens trop larges.

Le passage de la chaussée aux accotemens est dangereux, surtout sur les chaussées pavées où l'accotement se trouve toujours plus bas de quelques centimètres que la bordure en pavé, et si deux voitures se rencontrent, l'une d'elles, ou quelque fois toutes les deux se trouvent forcées de mettre une roue sur l'accotement : le changement subit produit un ressaut qui fait renverser la voiture.

Les accotemens, dans les temps pluvieux, sont des plaines de boue où les piétons ne peuvent marcher. S'ils prennent le pavé, bientôt deux voitures de front ne leur laissent que la ressource de s'abîmer dans une terre fangeuse ; s'ils prennent un des bords extérieurs du fossé, ils divaguent sur les terres des propriétaires riverains et nuisent aux récoltes.

On désirerait qu'on réduisît, sur les routes de 60 pieds, les accotemens à 6 pieds, la chaussée à 24 pieds, les fossés à 4 pieds; sur le côté extérieur du fossé, on établirait une banquette de 5 pieds dans sa base, et qui aurait au moins 2 pieds d'élévation au-dessus du niveau du terrain ; il resterait ensuite 3 pieds qui serviraient à la plantation des arbres.

Dans cette position, les arbres seraient moins nuisibles à la chaussée ; ils serviraient d'ombrage aux piétons ; ils seraient à l'abri du pillage des passans, et plus faciles à conserver. (*Voyez pl. XXVIII, les 3 dernières figures*).

Quand les accotemens s'affaissent, faute d'être soutenus, les bordures de la chaussée se déchaussent, la chaussée cède et

s'enfonce : cet état des routes demande un entretien continuel, et cet entretien très-dispendieux ne les rend pas meilleures. Il serait convenable, par ce motif, de soutenir, dans plusieurs localités, les accotemens par de petits murs de soutenement.

La construction des murs de soutenement serait, sans doute, coûteuse; mais l'avantage l'emporterait peut-être sur la dépense.

Pour l'entretien journalier des routes, on emploie des cantonniers, et l'on doit regarder ce moyen conservateur comme indispensable; mais je crois que cette dépense pourrait devenir un sujet d'économie et de libéralité.

Dans le grand nombre de militaires qui ont si bien mérité du gouvernement, et auxquels il doit et donne des retraites, on pourrait choisir pour cantonniers ceux à qui il reste assez de force pour travailler.

On ferait construire, de distance en distance, une maisonnette en pisé, à laquelle on joindrait un carré de terrain pour le jardinage; ces maisonnettes pourraient être bâties uniformément avec des péristyles soutenus par quatre troncs d'arbres en forme de colonnes. Ces péristyles serviraient à mettre les voyageurs à l'abri, en cas de mauvais temps; et ces habitations, ainsi multipliées, contribueraient à la sûreté et à l'agrément des routes.

On donnerait à ces cantonniers militaires un traitement annuel, et ce traitement ne pourrait jamais atteindre les sommes des dépenses réunies des cantonniers et des militaires à qui on donne des retraites : ce serait donc une économie pour le gouvernement.

Les communes sur lesquelles se trouveraient placés les cantonnemens, pourraient être tenues de fournir le terrain, et peut-être de faire la première dépense des maisonnettes.

Nous croyons devoir donner quelques notions sur les chemins de fer. On ne s'arrêtera point à discuter leur avantage; on n'examinera pas s'il y a des circonstances où l'on ne devrait pas, en France, leur donner la préférence sur la petite navigation; si l'on

n'obtiendrait pas par eux plus de promptitude dans les transports, et s'il n'y a pas enfin des lieux, des circonstances qui commanderaient ces sortes de chemins, pour étendre la bienfaisante influence des canaux jusqu'à plusieurs lieues dans les terres, surtout dans les pays montueux où se trouve ordinairement le siége des richesses minérales. On va seulement examiner leur construction, leurs divers avantages, et l'usage qu'en font les Anglais qui en sont les inventeurs.

Les principes pour la construction des chemins de fer sont de placer les barres dont ils sont composés dans un parallélisme exact, reposant et scellées dans des soubassemens de pierre ou de traverses de bois ; mais la pierre est préférable : il faut aussi que les barres parallèles aient une pente égale, et que le chemin soit rendu sec de chaque côté par des saignées, pour éviter des dégradations par le séjour des eaux pluviales. Des carrés de pierre placés de niveau, et à chaque côté des pierres un massif de graviers ou de pierres pilées, fortement battues avec un mouton ou une demoiselle, la voie du cheval bien ferrée ; une rigole pratiquée pour le prompt écoulement des eaux pluviales ; des barres pesant environ trente-trois livres, avec un talon à chaque extrémité, pour être scellées dans la pierre, et ce scellement fait avec du souffre ; tels sont les élémens de ce genre de chemin.

Mais, pour mieux juger de leur construction, j'en vais donner une explication extraite du volume 14 des Annales des Arts et Manufactures, par M. O'Reilly.

La largeur d'un chemin de fer à deux voies est composée, savoir : d'un fossé de chaque côté ayant un mètre de largeur. . . . . 2^m, 00

De trois entre-deux ayant ensemble. 2, 00

De deux voies ayant ensemble. 3, 00

Total. 7, 00

Le poids de la fonte pour une simple voie serait de 54 kilogrammes par mètre courant, et, par conséquent de 108 pour deux voies.

On suppose que la formation du chemin, pour ce qui concerne les terrassemens, exigerait 7 mètres cubes par mètre courant, c'est-à-dire, autant de mètres qu'il y en a dans la largeur du canal. Il entrera pour la double voie trois dés par mètre courant, ayant 0, 30 sur 0, 30 et sur 0, 35.

Dans le Northumberland, le prix des matériaux d'un pareil chemin simple, fonte, fer et pieux compris, est de 900 à 1000 livres sterlings par mille, plus 400 livres sterlings pour travaux d'art et pour le posage répété deux fois. Il faut ajouter le prix du terrain. On ménage trois croisemens ou trois chambres par mille.

Un cheval, traînant sur un plan horizontal, conduira 8,000 kilogrammes. A Newcaste, le poids était réparti sur 7 chariots. On peut avoir un homme pour 3 chevaux. Le prix d'un chariot est d'environ 600 francs, et il contient 1,250 kilogrammes de matière transportée.

La coulisse, ou longrine de fer, le plus généralement employée pour les chemins de fer, a 6 pieds de longueur; la largeur de la surface sur laquelle roulent les roues des chariots, est de trois pouces, et l'épaisseur d'un demi-pouce. Le rebord s'élève de deux pouces au-dessus de la surface qu'on appelle la charrière. Le rebord a un demi-pouce d'épaisseur à sa jonction avec la charrière; on le diminue environ d'une ligne vers le sommet pour la dépouille, en moulant les pièces. Les trous pour les clous, lorsqu'on les pratique dans la charrière, doivent être fraisés dans le modèle du fondeur, afin de recevoir les têtes. On pratique ces trous à un pouce de distance de chaque bout; dans quelques longrines, on met des oreilles derrière le rebord à chaque ex-

trémité pour recevoir les clous. Chaque longrine pèse environ 47 à 50 livres. Le menuisier doit avoir un grand soin, en faisant le modèle en bois, de laisser 4 pouces 5 huitièmes de largeur aux deux extrémités : négliger ce point, c'est se préparer beaucoup de peine et de difficultés, lorqu'on vient à poser les chemins.

Les dimensions précitées conviennent, pour les chemins, dans les environs des forges et des houillières, ainsi que dans les galeries des mines. Lorsqu'il s'agit de transporter des fardeaux plus considérables que ceux usités dans ces endroits, on doit raccourcir les longrines à 4 pieds ou 4 pieds et demi, élever les rebords d'un demi-pouce de plus vers le milieu, et augmenter l'épaisseur d'un huitième de pouce. Lorsqu'on aura des poids légers à transporter, on diminuera l'épaisseur dans la même proportion.

On emploie des sommiers de bois, sur lesquels on pose les longrines de fer. Dans plusieurs endroits, on fixe les extrémités sur des morceaux de bois de tout échantillon, sans entailler leurs surfaces, pour recevoir les longrines. Dans les chemins soignés, les sommiers ont 3 pieds 4 pouces de largeur : on les débite en bois de chêne de 4 à 5 pouces de large sur 3 pouces et demi d'épaisseur; la coulisse ou longrine est entaillée dans le sommier, de manière à laisser 14 pouces dans œuvre, de rebord en rebord ; ce qui forme la voie des chariots, à 3 quarts de pouce près, pour le jeu des roues dans les chemins en ligne droite ; mais, lorsque le chemin tourne rapidement, il faut un pouce et demi de jeu. Lorsque les longrines se réunissent à des coulisses courbées, on fait l'extrémité qui se joint à la coulisse, plus large d'un pouce que l'autre bout qui se réunit aux longrines du chemin droit.

On se sert des coulisses courbes pour tourner un chemin à angle droit : ces coulisses exigent trois sommiers entre les extrémités ; leur charrière a quatre pouces de large ; et à cause du tournant, la voie est espacée d'un pouce et demi de moins que

le chemin droit; l'épure de la coulisse intérieure est tracée par un rayon de 3 pieds 2 pouces, et se fait de quatre pièces; la coulisse extérieure se trace par un rayon de quatre pieds six lignes, et se forme d'autant de pièces.

On observe des dispositions particulières pour faire passer les chariots l'un à côté de l'autre, dans les endroits où l'économie ne permet point d'établir des chemins doubles.

Les sommiers sur lesquels reposent les longrines du chemin double ont quatre boulons de demi-pouce de diamètre, qui entrent dans les rebords, et qui maintiennent les longrines à des distances convenables.

Les chemins de fer se réunissent en plusieurs endroits avec les plates-formes des magasins, etc., d'où les chariots partent chargés de marchandises pour commencer leur route. Comme ces planchers sont un peu plus élevés que le niveau du chemin, les longrines sont munies de deux portions circulaires qui se relèvent vers l'extrémité, pour se poser sur la plate-forme où la charrière est entaillée dans les madriers.

Les chariots employés sur les chemins de fer sont tous de différentes dimensions, suivant la nature des marchandises ou des matériaux dont on les charge. La seule chose indispensable dans leur confection, c'est que leurs roues de fonte n'aient jamais plus d'un pouce et demi à deux pouces de large, afin de s'accommoder à la largeur des charrières; la hauteur est en général de 14 à 18 pouces.

Je ne passerai pas en revue les différens changemens qu'on a fait subir aux chemins de fer, puisque ces changemens sont souvent déterminés par la nature des localités et la manière de voir de l'ingénieur.

On a établi en France un chemin de fer aux mines de charbon du Mont-Cenis, pour conduire les charbons aux fonderies du

Creusot; mais ce chemin a été fabriqué à trop grands frais, ce qui a empêché de l'imiter ailleurs, et cependant il y a des endroits où cette construction de chemin aurait produit un avantage très-considérable. Par exemple, depuis les mines de Fim et Noyant, département de l'Allier, jusqu'à Moulins, la rivière de Quesne ne pourrait être rendue navigable qu'avec beaucoup de dépenses : la pente est considérable depuis Cressanges, et le nombre d'écluses qui seraient indispensables, rendrait nuls les avantages de cette navigation; cependant ces houillières sont de première qualité et d'une richesse inépuisable.

Il existe en Angleterre beaucoup de chemins de fer qui facilitent considérablement le transport des charbons aux canaux de navigation; mais avant d'en établir, on a cherché à s'assurer de l'avantage que ces chemins pourraient avoir sur une petite navigation. Je vais rapporter les expériences qui ont été faites pour s'en assurer.

Un cheval, estimé la valeur de vingt louis, traîna facilement sur un chemin de fer, dont la pente était de cinq huitièmes de pouce par toise, vingt-un petits chariots accrochés l'un à la suite de l'autre et chargés de houille, de bois et d'autres matières; pesant en tout soixante-dix milliers. Ce poids qui paraît incroyable, a été tiré à plusieurs reprises par le même cheval, en présence de commissaires nommés pour constater l'expérience.

Le même cheval, sans s'être sensiblement fatigué, fit remonter ces mêmes chariots vides, pesant environ dix milliers. Dans une autre partie du chemin où la montée était de 3 pouces et demi par toise, le cheval n'a pu tirer que six milliers; en descendant à ce même endroit, on a été obligé d'enrayer les roues, pour empêcher que le poids ne foulât trop fortement les reins du cheval.

Les chariots employés sur ce chemin étaient en forme de camions ou de pyramides tronquées, élevées sur quatre roues de

fonte évasées, et portant dans leur rainure sur la barre de la fonte qui forme le conduit ou le chemin de fer.

Les mêmes personnes ont fait une seconde expérience à une autre houillière sur un chemin d'une construction semblable, dont la pente était de 2 tiers de pouce ($0^m,018$) par toise. Le cheval employé était très-robuste; on attela derrière lui vingt-un de ces camions pesant chacun cinq quintaux, et ensemble avec leur chargement de houille quatre-vingt-six milliers huit quintaux. Ce cheval les traîna jusqu'au bas de la descente avec la plus grande facilité. Le même cheval remonta avec un poids de quatorze milliers. Il est bon de remarquer que quoique ces poids soient anglais, le quintal employé était celui du commerce, ou de cent vingt livres; ce qui rend le calcul encore plus extraordinaire. Ce chemin a été formé de barres ou gueuses de fonte de 3 pieds de long, et du poids de trente-trois livres chacune. On les a placées et scellées, en laissant entre les bandes parallèles une voie de quatre pieds deux pouces de large; elles étaient fixées sur des barres de pierre ou sur des poutres en chêne, et la chaussée sur laquelle on avait établi la plate-forme, était remplie de gravois ou de sable battu, à défaut de ciment et de maçonnerie qui seraient revenus à un prix trop élevé, et dont l'usage était inutile.

La dépense par mille anglais (826 toises ou 1609 mètres), y compris les matériaux employés à la construction de cette route, sur le point le plus dispendieux, était d'un millier de louis; dans cette dépense, on ne compte pas les exhaussemens extraordinaires pour traverser les ravins, etc. Les barres ne pèsent jamais moins de vingt livres, ni plus de quarante.

Il y a plusieurs circonstances où les chemins de fer l'emportent sur la petite navigation, dit M. O'Reilly : partout où la pente est d'un pouce par toise, il faudrait nécessairement renoncer à l'u-

sage des canaux, et on obtiendrait, par un chemin de fer, plus de promptitude dans le transport.

On a pratiqué de ces chemins avec des barres ou tringles de bois, pour éviter la dépense du fer; mais, après plusieurs essais inutiles, on s'est vu forcé de les abandonner : l'humidité les tourmentait; ils se déjetaient et exigeaient des réparations fréquentes qui les rendirent impraticables.

Les partisans des canaux soutiennent que le transport par eau a l'avantage, à cause de la quantité qu'on peut voiturer à la fois; mais ils ne font pas attention aux difficultés de remonter à tout moment un chargement complet. Sans doute, dans les eaux mortes, un cheval peut traîner plus de soixante milliers, tandis que sur le chemin de fer il ne peut tirer que seize à vingt mille; mais aussi quelle différence pour les frais! L'entretien de ce surcroît de chevaux, malgré le prix de la voiture, ne sera pas même la moitié du péage et du transport par un canal.

Aujourd'hui, en Angleterre, ces chemins rivalisent avec les canaux de navigation. Partout dans le Southwales et dans tous les pays montueux on les emploie. On se trompe, si l'on croit qu'ils ne sont consacrés qu'aux forges et aux houillières : il en existe pour des communcications encore plus importantes, et il y en a un, entr'autres, destiné à former la communication entre Portsmouth et Londres.

Par ordonnance du Roi, du 26 février 1823, on vient de concéder l'établissement d'un chemin de fer dans le département de la Loire, depuis le pont de l'Ane, près St-Etienne, jusqu'à la Loire; et on vient de demander d'établir un autre chemin de fer, depuis les environs de Saint-Etienne jusqu'au Rhône à Givors, en concurrence avec le canal de Givors, et moyennant le droit de percevoir à perpétuité, sur le chemin de fer, un péage de 0f,0186 par mille mètres de distance et par hectolitre de houille.

La première concession a été accordée avec la condition que la compagnie ne pourra réclamer aucune indemnité, dans le cas où le gouvernement autoriserait, par la suite, la construction de canaux ou d'autres chemins de fer, propres au transport de la houille ou autres marchandises, soit de la Loire au Rhône, soit sur d'autres points.

Il n'est pas inutile de parler ici de l'odomètre. C'est un instrument pour mesurer les distances par le chemin qu'on a fait.

L'avantage de cet instrument consiste en ce qu'il est d'un usage fort facile et fort expéditif : sa construction est telle qu'on peut l'attacher à une roue de carosse, ou de toute autre voiture. Dans cet état, il fait son office, et mesure, par les tours de roue, le chemin, sans causer le moindre embarras.

L'odomètre le plus commode est celui représenté (*pl. XLIII*, *fig.* 1, 2 *et* 3) : il consiste en une roue de deux pieds sept pouces et demi de diamètre, dont la circonférence est, par conséquent, d'environ huit pieds trois pouces ; à un des bouts de l'axe, est un pignon de trois quarts de pouce de diamètre, divisé en huit dents, qui viennent, quand la roue tourne, s'engrener dans les dents d'un autre pignon C, fixé à l'extrémité d'une verge de fer, de manière que cette verge tourne une fois, pendant que la roue fait une révolution : cette verge, qui est placée le long d'une rainure pratiquée sur le côté de l'affût B de cet instrument, porte à son autre bout un trou carré, dans lequel est placé le bout *b* du petit cylindre P ; ce cylindre est disposé sous un cadran à l'extrémité de l'affût B, de telle manière qu'il peut se mouvoir autour de son axe : son extrémité est faite en vis sans fin, et s'engrène dans une roue de trente-deux dents, qui lui est perpendiculaire ; quand l'instrument est porté en avant, la roue fait une révolution à chaque sixième de perche ; sur l'axe de cette roue est un pignon de six dents, qui rencontre une

autre roue de soixante dents, et lui fait faire un tour sur cent soixante perches ou un demi-mille.

Cette dernière roue porte un index ou aiguille, qui peut tourner sur la surface du cadran, dont le timbre extérieur est divisé en cent soixante parties, répondantes aux cent soixante perches, et l'aiguille indique le nombre des perches que l'on a faites; de plus, sur l'axe de cette dernière roue est un pignon de vingt dents, qui s'engrène dans une troisième roue de quarante dents, et lui fait faire un tour sur trois cent vingt perches ou un mille; sur l'axe de cette roue est un pignon, lequel s'engrenant dans une autre roue qui a soixante-douze dents, lui fait faire un tour en douze milles.

Cette quatrième roue porte un index qui répond au timbre intérieur du cadran; ce timbre est divisé en douze parties pour les milles, et chaque mille est subdivisé en moitiés, en quarts, etc., et sert à marquer les révolutions de l'autre aiguille, ainsi qu'à connaître les demi-milles, les milles, etc., jusqu'à douze milles que l'on a parcourus.

La manière de se servir de cet instrument est indiquée par sa construction; il sert à mesurer les distances dans les cas où l'on est pressé, et où l'on ne demande pas une si grande exactitude.

Il est évident qu'en faisant agir cet instrument, et en observant les tours des aiguilles, on a la longueur de l'espace qu'on veut mesurer, comme si on arpentait à la toise ou à la chaîne.

CHAPITRE TROISIÈME.

DES MOYENS DE TRANSPORT DES MATÉRIAUX DESTINÉS A LA CONSTRUCTION ET A L'ENTRETIEN DES ROUTES.

Nous devons maintenant nous occuper des machines employées pour la construction des chemins; c'est-à-dire, de l'homme, du cheval, du chariot, etc. Lorsque nous parlons de l'homme-machine, c'est que c'est sous ce rapport que nous devons l'examiner, parce que sa force et son mouvement nous sont indispensables dans l'exécution des grands travaux. En parlant ainsi, nous ne prétendons pas séparer l'homme de l'homme; mais nous le divisons en deux classes : dans l'une est l'homme qui commande, dans l'autre celui qui obéit; et pour commander, il faut connaître ce qu'on peut obtenir de celui à qui l'on commande ; il faut évaluer ses forces afin de ne rien exiger au-delà de ce qui est raisonnablement possible. Un squelette est une machine mise en mouvement par les muscles ; il faut donc savoir avec quelle force les muscles agissent pour la mettre en mouvement.

Nous ne pouvons trop nous appliquer à connaître la nature des agens que nous employons, de quelle manière ils agissent, quelles sont leurs forces, etc., etc. Ces connaissances de fait sont, dans la pratique, ce que sont les principes généraux dans les sciences de pure spéculation, dont l'application est d'une utilité si étendue, et nous épargnent tant de travaux.

Ceux qui veulent alimenter leur curiosité sur cet objet intéressant, peuvent consulter un traité d'Alphonse Borelli, sur les mouvemens des animaux. Je me contenterai de joindre ici l'extrait d'un mémoire de M. Delahire, sur la force de l'homme pour mouvoir des fardeaux, tant en levant qu'en poussant et en tirant.

Je suppose, 1° qu'un homme de taille médiocre et qui est fort, pèse 140 livres de notre poids.

Je considère d'abord qu'un homme, tel que je viens de le supposer, ayant les deux genoux à terre, peut se relever en s'appuyant seulement sur la pointe des pieds, et les deux genoux étant toujours joints ensemble; et comme cet effort se fait par le moyen des muscles des jambes et des cuisses, il est évident, par la supposition que je viens de faire de sa pesanteur, que les muscles des jambes et des cuisses auront la force de lever 140 livres.

Mais un homme ayant les jarrets un peu ployés, peut se redresser, quoiqu'il soit chargé du poids de 150 livres, avec la pesanteur de son corps qu'il élève en même-temps, en sorte que la force des muscles des jambes et des cuisses peut élever un poids de 290 livres, savoir : 150 livres dont il est chargé, et 140 livres du poids de son corps, lorsque l'élévation n'est que de deux ou trois pouces.

Un homme, dans la supposition que nous avons faite d'abord, et comme nous le considèrerons toujours dans la suite, peut aussi lever de terre un poids de 100 livres, lequel sera placé entre ses jambes, en ployant seulement le corps, et prenant ce poids avec les mains comme avec deux crochets, et en se redressant ensuite; d'où il suit que les seuls muscles des lombes ont la force de lever un poids de 170 livres, savoir : les 100 livres du poids, et 70 livres qui est la moitié de sa pesanteur; car

il doit non-seulement élever le poids de 100 livres, mais encore toute la partie supérieure de son corps depuis la ceinture, que j'estime du poids de 70 livres, puisqu'il s'était penché pour prendre le poids.

Pour ce qui est de la force des bras pour tirer ou pour élever un fardeau, on peut la supposer de 160 livres, ce qui dépend de la force des muscles des épaules ou des bras; car, si un homme prend avec les deux mains quelque corps fixé ou placé au-dessus de sa tête, il pourra assez facilement, par l'effort seul de ses bras, élever tout son corps, et même 20 livres de plus, comme s'il était chargé du poids de 20 livres. On en peut faire facilement l'expérience; en effet, si un poids de 160 livres est attaché à l'extrémité d'une corde, laquelle passe par-dessus une poulie, et qu'un homme qui pèse seulement 140 livres, tire l'autre extrémité de cette corde, il est évident qu'il ne pourra jamais élever le poids de 160 livres, puisque tout ce qu'il peut faire c'est de se suspendre à cette corde, et le poids qui est attaché à l'autre extrémité, pesant plus que lui, le tiendra suspendu; puisque la poulie n'est autre chose qu'une balance continue à bras égaux; mais si on charge cet homme du poids de 20 livres, il fera alors l'équilibre avec le poids de l'autre côté; et pour peu qu'on ajoute au poids de 20 livres, il élèvera le poids, puisque les muscles de ses épaules et de ses bras ont assez de force pour élever tout ce poids.

Quoique les muscles de chaque partie du corps puissent faire de très-grands efforts pour élever des fardeaux, on ne doit pas pour cela compter la force de l'homme par celle de tous ses muscles ensemble, quand même les esprits, qui font gonfler les muscles qui servent au mouvement en général, en se raccourcissant et en tirant les tendons de leurs extrémités, pourraient se distribuer également dans toutes ces parties, et de la même ma-

nière que dans une partie séparée, puisque chaque partie sert ordinairement de soutien à celle qui lui est jointe. Par exemple, les muscles des bras et des épaules en se retirant peuvent élever un poids de 160 livres ; mais si le corps est penché, les bras ne peuvent pas soutenir ce poids, à moins que les muscles des lombes n'aient la force en même temps de soutenir la partie supérieure du corps avec le poids dont il est chargé ; et si les jarrets étaient encore ployés, il faudrait alors que les muscles des jambes et des cuisses fissent encore un plus grand effort, puisqu'ils devraient soutenir le poids de 160 livres, et en même temps celui de tout le corps ; d'où il arrive que, dans cette disposition de tout le corps, la force des esprits se distribue dans toutes ses parties, et empêche qu'un homme puisse lever un poids de 160 livres.

J'examine maintenant l'effort d'un homme pour porter un fardeau sur ses épaules, et je dis que le poids de ce fardeau peut être de 50 livres, et que cet homme peut marcher avec cette charge assez facilement sur un plan horizontal, pourvu qu'il ne fasse pas de grandes enjambées ; mais il lui sera impossible de gravir une montagne, ou de monter un escalier avec le même poids ; car l'action de marcher en portant un fardeau sur les épaules, doit être considérée comme le mouvement circulaire du centre de gravité du corps et du poids joints ensemble, sur le pied qui avance comme centre de l'arc du mouvement, l'effort des muscles de l'autre jambe ne servant qu'à pousser ce centre en avant ; et si l'arc que décrit ce centre est petit, l'effort de la jambe de derrière ne doit pas être grand pour le faire décrire, puisqu'il ne doit faire élever tout le fardeau du corps et du poids que de la quantité du sinus verse de la moitié de l'arc, ce qui n'est pas considérable dans ce cas, par rapport à l'arc qui est le chemin dont tout le fardeau avance.

Ainsi, l'on voit qu'un homme bien chargé peut marcher d'autant plus facilement, qu'il fera de plus petites enjambées, puisque le sinus sera d'autant plus petit, et qu'il ne pourrait avancer en faisant de grandes enjambées, parce que l'effort de la jambe de derrière ne pourrait élever le fardeau du corps et du poids de la quantité du sinus verse de l'arc qui serait la moitié du chemin.

On verra donc aussi que ce même homme ne peut monter un escalier ou une bute escarpée avec cette charge, puisque, suivant ce que nous avons vu plus haut, l'effort des muscles de ses jambes pouvant élever un poids de 150 livres, seulement à 2 ou 3 pouces de hauteur, il ne pourrait pas l'élever à 5 pouces, hauteur des marches ordinaires, ni gravir une montagne, à moins qu'il ne fasse de si petites enjambées, qu'il ne s'élève que de 2 ou 3 pouces ($0^{m},054$) ou ($0^{m},081$) à chacune.

Il ne me reste donc plus qu'à considérer l'effort de l'homme pour tirer ou pour pousser horizontalement; mais pour rendre cette explication plus claire et plus intelligible, je considère sa force appliquée à la manivelle d'un rouleau dont l'axe est horizontal, et sur lequel s'entortille une corde qui soutient un poids. Ayant posé la distance, depuis le centre du rouleau jusqu'au coude de la manivelle, égale au demi diamètre du rouleau, afin de comparer la force appliquée sans aucune augmentation de la part de la machine, je n'ai point égard aux frottemens de l'axe du rouleau, ni à la difficulté que la corde peut avoir à se ployer. Premièrement, il est évident que, si le coude de la manivelle est placé horizontalement, et qu'il soit à la hauteur des genoux environ, l'effort de l'homme qui relève la manivelle en tirant, peut élever en même temps le poids de 150 livres qui sera attaché à l'extrémité de la corde, en prenant tous les avantages possibles, puisque l'effort est le même que pour élever ce poids; mais si

c'est pour abaisser la manivelle, son effort ne peut être que de 140 livres, qui est le poids de tout son corps qu'il peut y appliquer en l'y appuyant, à moins qu'il ne soit chargé ; car alors il pourrait faire un plus grand effort. Secondement, si le coude de la manivelle est placé verticalement, et qu'il soit à la hauteur des épaules, il est certain qu'un homme ne pourra faire aucun effort pour la faire tourner, en la tirant ou en la poussant avec les mains, si les deux pieds sont l'un contre l'autre, et que le corps soit droit.

Ceux qui n'ont pas fait l'expérience de la force d'un homme pour pousser horizontalement avec les bras, ou pour tirer une corde horizontale en marchant, le corps étant incliné en devant, soit que la corde soit attachée vers les épaules ou au milieu du corps, car l'effort n'en sera pas plus grand dans la même inclinaison du corps, puisque le sinus d'inclinaison et de son complément sont toujours dans la même raison, ceux-là, dis-je, ne sauraient se persuader que toute la force d'un homme se réduise à tirer seulement 27 livres avec une direction horizontale.

Ce n'est pas qu'un homme étant penché ne puisse soutenir un poids beaucoup plus grand que 27 livres, puisque, si sa ligne d'inclinaison vers l'horizon n'était que de 45 degrés, il est certain que le poids du corps soutiendrait 80 livres ; mais si l'inclinaison était plus de 45 degrés, alors l'homme, loin de pouvoir marcher, pourrait à peine se soutenir.

Il reste à comparer la force des hommes à celle des chevaux, pour tirer. L'expérience commune prouve qu'un cheval tire horizontalement autant que sept hommes, quoique le cheval ne puisse tirer horizontalement qu'à peu près 200 livres. Ce n'est pas qu'ayant un peu plus de charge, il ne puisse la tirer; mais c'est peu de chose, par rapport à l'idée qu'on a de la force de cet animal, ayant coutume de ne considérer sa force qu'appliquée

à quelque machine à roue, comme sont les charrettes; on ne saurait faire une estimation bien juste, puisque, sur un plan uni horizontal, ils n'emploient que la force nécessaire pour vaincre le frottement des essieux.

On peut encore remarquer que trois hommes feront plus qu'un cheval, lorsqu'il s'agira de porter un fardeau sur une montagne un peu escarpée; car trois hommes chargés de 100 livres chacun la monteront plus vite et plus facilement qu'un cheval chargé de 300 livres. Un avantage que l'homme a sur le cheval, de monter plus facilement les chemins escarpés, est moins le résultat de la force que d'une heureuse disposition de toutes les parties de son corps.

L'usage multiplié que nous faisons du cheval dans nos travaux pour le transport des matériaux, a déterminé les savans à rechercher quels étaient les moyens d'employer cet intéressant animal, et de tirer tout le parti possible de sa force et de sa docilité, sans trop le fatiguer.

M. de Lahire a fait sur cet objet différens mémoires où il cherche à prouver que la force de l'homme est plus avantageusement employée à porter qu'à tirer, au lieu que celle du cheval est plus avantageusement employée à tirer qu'à porter, parce que, dit-il, toutes ses parties sont plus favorablement disposées pour cet effet que celle de l'homme; et il ajoute que la force des chevaux ne dépend pas absolument de leur pesanteur, comme celle des hommes, mais principalement des muscles de leur corps et de la disposition générale de leurs parties, qui ont un très-grand avantage pour pousser en avant.

M. de Lahire a raison dans tout ce qu'il dit, si on l'interprète bien; mais on l'a mal entendu. Il est vrai que ce savant académicien aurait pu s'étendre davantage sur ce qui regarde la force des chevaux: il n'a d'ailleurs rien dit de la manière de l'employer,

quoique ce fût là l'article le plus important, et qu'il fût plus en état que personne de le discuter.

Nous allons suivre le mémoire de M. de Parcieux sur le même sujet; il nous apprend à peu près tout ce qu'un ingénieur doit savoir relativement au tirage des chevaux.

Il est bien vrai, comme l'a remarqué M. de Lahire, que les chevaux sont plus propres à tirer qu'à porter; mais il ne s'en suit pas que ce soit pour la force absolue de leurs muscles qu'ils tirent, ni qu'il faille mettre les palonniers à la hauteur du poitrail des chevaux, de crainte de les charger ou de les faire porter en partie. Je pense, au contraire, que ce que l'inclinaison convenable des traits leur fait porter, est plus favorable au tirage que nuisible, puisque cela fait le même effet que si on les chargeait d'un très-petit poids, sans qu'ils en soient réellement embarrassés, leur laissant toujours toute leur liberté.

Pour démontrer que les traits inclinés au chemin sont plus favorables à l'action du cheval ou de quelqu'autre agent animé que ce soit, il faut que je fasse voir auparavant qu'ils ne tirent tous que par leur pesanteur. Je commence par l'homme, quoiqu'on ne le conteste pas: ce que je dirai sur la manière d'agir en tirant, contribuera à rendre plus intelligible ce que j'ai à dire pour le cheval.

Il est aisé de voir que l'homme AP (*pl. XXIV, fig. 2*), que je suppose tirer un seau d'eau d'un puits, ne le fait monter qu'autant qu'en se penchant il appuie le poids de son corps contre la bretelle AB, en s'exposant à se laisser tomber, si la corde venait à casser. On voit que le centre de gravité C, où l'on doit supposer tout le poids de l'homme réuni, tend à s'approcher du centre de la terre, en suivant l'arc CG, qui a pour centre le pied P qui porte à terre: ce qui arriverait infailliblement, si l'autre pied E ne venait au secours faire un nouveau point d'appui, et

si, en tendant le jarret peu à peu, on ne tenait le centre de gravité de la masse de l'homme toujours à la même hauteur ou à peu près, suivant le besoin.

Il est bien évident que cet homme ne tire que par sa pesanteur; car si la résistance ne cédait pas lorsqu'il s'appuie contre la bretelle, la masse se trouverait portée ou soutenue par le pied P qui fait le point d'appui, et par le trait ou la corde BL ou MQ, que nous supposons ne pas céder, soit que l'autre pied soit levé, soit qu'il semble porter à terre ; car, dans ce dernier cas, s'il touche à terre, il n'y appuie pas : il n'est là tout machinalement que pour soutenir le corps en cas d'accident, et faire un nouveau point d'appui, quand l'autre jambe sera entièrement tendue; mais tant que la résistance ne cède pas, le poids de l'homme est porté par le point d'appui P où est son pied, et par la corde BL ou MQ de la résistance, comme le ferait une poutre ainsi inclinée.

Tous ceux qui ont étudié les premiers principes de la mécanique, savent qu'à chaque instant de l'action, on peut prendre pour bras du levier les perpendiculaires abaissées du point d'appui aux directions suivant lesquelles agissent les poids ou les puissances. Ainsi, dans la position de l'homme que nous avons supposée, le bras du levier de sa masse est la ligne PD perpendiculaire à la direction CD, suivant laquelle le centre de gravité de l'homme tend à chaque instant à s'approcher du centre de la terre; le bras du levier de la résistance serait PM, si l'homme tirait par un trait horizontal; et il ne serait que PF, s'il tirait par un trait incliné.

Si cet homme se baisse ou s'incline plus qu'il n'est, il se procurera deux avantages : son centre de gravité venant, par exemple, en I, la direction LK de la résistance sera descendue au-dessous de la première position. On suppose qu'elle soit des-

cendue en LN par ce mouvement, le bras du levier PF se raccourcit et devient PO; la résistance restant la même, et agissant maintenant par un bras du levier plus court, elle a perdu de son avantage; tandis que le poids de l'homme agissant par un bras de levier PH, plus long que le premier PD, en a gagné.

Ce n'est donc pas la force des muscles, en s'étendant, qui fait la traction; mais cette même force, aidée du jeu des muscles, met le poids de l'homme en état de vaincre la résistance, si elle peut l'être par un homme.

La force des muscles qui agissent dans un homme qui tire en avançant et en continuant sa route, ne sert qu'à lui faire porter continuellement son centre de gravité en avant; et pour le dire en deux mots et distinguer l'effet de la cause, le poids de l'homme fait la traction, le jeu et la force des muscles en font la continuité.

On voit par-là qu'un homme qui est grand et gros à proportion, et aussi agissant qu'un homme de moindre taille, doit tirer un poids beaucoup plus pesant qu'un homme plus petit, quoique ce dernier puisse porter autant que le grand et même davantage.

Les parties du cheval, ainsi que de tous les autres quadrupèdes, sont tellement disposées, que les jambes de devant en portent la plus grande partie; l'office des muscles des jambes de derrière d'un cheval qui tire, est de pousser sa masse en avant, en inclinant les piliers qui en portent le plus : ce qui le ferait tomber, si les traits cassaient.

Dans un tirage ordinaire et modéré, la masse du cheval a deux points d'appui bien marqués, l'un aux pieds de derrière, et l'autre aux pieds de devant; mais dans tous les cas, le plus marqué est celui des pieds de derrière; car lorsqu'un cheval tire avec effort, les jambes de devant portent très-peu à terre : la masse du cheval est alors soutenue par les traits et par les pieds

de derrière, s'il a les muscles des reins, des hanches et des jarrets assez vigoureux pour cela.

Les jambes de devant portent donc moins quand le cheval tire que quand il ne tire pas ; ce qu'elles portent de moins est un poids qui tend à tomber en tournant autour du point d'appui qui est aux pieds de derrière, et c'est l'action de ce poids tendant à tomber, qui fait la traction; la force des muscles des jambes de derrière et des autres muscles ne sert qu'à pousser la masse en avant, et mettre le poids en état d'agir continuellement.

La peine que j'ai éprouvée, dit M. de Parcieux, à faire entendre à quelques personnes que ce n'est pas la force des muscles qui fait la traction, mais la pesanteur de l'agent, me porte à mettre ici une comparaison qui ne sera peut-être pas inutile.

On ne peut pas disconvenir que l'homme posé sur ses deux pieds, ou sur un seulement, s'appuyant contre la bretelle, ne tire par le poids de sa masse tendante à tomber. Si la résistance est grande, l'homme se baissera davantage ; mais qu'il soit plus ou moins baissé, c'est toujours par l'effet de sa pesanteur qu'il agit : cet homme pourrait tant se baisser, qu'à la fin ses mains toucheraient la terre ; ce serait toujous la même action, je veux dire, celle de la pesanteur; elle ferait alors beaucoup plus d'effet, et c'est le cas du cheval.

Cette position naturelle du cheval, indépendamment de l'inégalité des masses, est le principal avantage que le cheval a sur l'homme pour tirer; par sa position naturelle, sa masse est baissée autant qu'elle peut l'être, ou à peu près; elle est appuyée sur un ou deux pilliers mobiles, et par là moins exposée à tomber; les muscles des jambes de derrière ne font qu'appuyer cette masse contre le collier plus ou moins vigoureusement, selon que la résistance est plus ou moins grande, et ils l'appuyent quelquefois si fortement, que les jambes de devant ne portent plus

rien : c'est l'appui de derrière et les traits qui portent tout, et c'est le plus grand effort que le cheval puisse faire. S'il s'est baissé autant qu'il le peut, et que la résistance ne cède pas, le cheval aura beau tendre et bander ses muscles tant qu'il pourra, il se cabrera, et perdra de son avantage au lieu d'en acquérir.

Je crois, ajoute encore M. de Parcieux, avoir suffisamment montré que c'est la pesanteur, ou partie de la pesanteur de la masse du cheval qui fait la traction. Cela prouvé, il en doit être de sa manière de tirer comme de celle de l'homme ; que les traits inclinés rendent le bras du levier de la résistance, ou la perpendiculaire qui leur est menée du point d'appui, moindre que ne font les traits parallèles au chemin, il suffit, pour cela, de jeter les yeux sur la fig. 1 : c'est-là ce que je voulais prouver.

Par ce mouvement machinal, aussi naturel à l'homme qu'au cheval, outre l'avantage que procurent les traits inclinés, en rendant le bras du levier de la résistance plus court que ne le font les traits parallèles, il arrive encore que de quelque quantité que le cheval se baisse pour vaincre la résistance, il gagne d'avantage par des traits inclinés que par des traits parallèles ; car, en se baissant, il diminue presque de la même quantité les perpendiculaires qui seraient menées du point d'appui à l'une et à l'autre de ces deux positions de traits ; mais cette diminution est une partie plus grande de la perpendiculaire abaissée au trait incliné, qu'elle ne l'est de la perpendiculaire abaissée au trait parallèle, puisque cette dernière perpendiculaire est plus grande que la première ; et, par cette raison, dans les momens où il faut donner un fort coup de collier, le cheval n'a pas besoin de se baisser autant en tirant par des traits inclinés au chemin, qu'en tirant par les traits parallèles : par là, il est moins exposé à glisser, avantage très-grand pour la conservation d'un animal aussi utile.

Plusieurs personnes ont écrit en faveur du tirage haut ou parallèle au chemin, ce qui me paraît contraire à tout principe. J'ai cru qu'on me saurait gré d'éclaircir cette question, dont les applications sont très-intéressantes dans l'économie journalière.

DES VOITURES DE TRANSPORT.

Nous allons maintenant nous occuper de la charrette et de toutes les machines qui servent à traîner, comme brouette, traîneau, etc. L'usage des voitures roulantes, destinées à transporter de lourds fardeaux, est si ancien, qu'il serait étonnant qu'elles n'eussent pas toute la solidité qui leur est nécessaire, et toutes les commodités qu'on en peut attendre.

On peut bien penser que les Egyptiens en firent usage dans les grands travaux qu'ils exécutèrent.

Nous ne parlerons point des chariots ou chars qui servaient à transporter les hommes, et qui étaient connus chez les Romains sous le nom générique de *Currus* ou *Carrus :* ils s'appelaient *Biges*, *Triges* ou *Quadriges*, selon le nombre des chevaux qui les tiraient, et qui étaient ordinairement attelés de front : on y en attelait même jusqu'à dix ; mais ces derniers attelages ne servaient que pour les cirques ou les triomphes. On connaît aussi le *Rheda*, nom Gaulois. Selon Quintilien, c'était un char à quatre roues : on s'en servait comme on se sert aujourd'hui des voitures publiques : il allait à huit chevaux, et quelquefois à dix. Ces chevaux étaient deux à deux.

Nous tenons donc de nos ancêtres l'art de voyager commodément ; mais ils n'avaient pas, comme nous, ces voitures suspendues sur des ressorts, qui nous balancent mollement, et nous empêchent de ressentir le choc des aspérités que présentent les voies publiques.

Je ne parlerai que des voitures ou machines propres à transporter les fardeaux, ce qu'on appelait chez les latins *plaustrum*. C'était une espèce de charrette ou fourgon à deux roues, et quelquefois à quatre, qui servait à porter des charges.

Les anciens connaissaient aussi l'usage des petits chariots à une roue, que nous appelons *brouettes*, et qui ne portaient, comme aujourd'hui, que de petites charges.

Les traîneaux étaient aussi connus des Grecs et des Romains; nous nous en servons aujourd'hui, et l'on a voulu même se persuader que leur usage était préférable à celui des voitures à roues. Je vais, à ce sujet, rapporter quelques réflexions de M. Couplet.

Un traîneau, sur un plan horizontal parfaitement dur et poli, sera mu par la moindre puissance, quelle que soit la charge du traîneau.

Une charrette dont les roues seraient parfaitement dures, polies et cintrées, roulant sur un plan horizontal, parfaitement dur et poli, serait aussi mue par la moindre puissance, quelle que soit la charge de la charrette.

Mais il s'en faut beaucoup que les charrettes, les traîneaux et les chemins aient la perfection dont nous venons de parler.

Les roues de charrettes ne sont pas parfaitement rondes, les clous de leurs bandes y font même des éminences qui obligent la charrette et sa charge à s'élever; les chemins sont remplis de tant d'aspérités et d'ornières, qu'on est obligé d'appliquer aux charrettes et aux traîneaux un nombre considérable de chevaux pour les traîner.

Ce nombre de chevaux ne peut donc point être déterminé par la charge seule de la voiture, il faut encore avoir égard aux chemins par lesquels elle doit passer.

En troisième lieu, il faut faire attention à la longueur des traits du dernier cheval de volée; car nous ferons voir, dans la

suite, que plus il faudra de chevaux pour le tirage, plus les traits de ce dernier cheval doivent être longs, pour qu'ils puissent résister à la charge qu'il aura à supporter.

La comparaison de la charrette et du traîneau mérite encore quelques attentions.

M. Duquet a présenté à l'académie un modèle de charrette posée sur un terrain incliné, sur lequel il y avait des inégalités, comme il s'en trouve sur un chemin pavé, et cette charrette, tirée par une certaine puissance, n'a pu monter ce chemin incliné.

La même charrette devenue traîneau par la suppression de ses roues et de son essieu, étant posée sur le même chemin, et tirée par la même puissance, a facilement monté le chemin.

L'auteur, fondé sur cette expérience, a prétendu que l'usage du traîneau était préférable à celui des autres voitures portées sur des roues; mais, au lieu de conclure comme il a fait, examinons ce qui est arrivé dans sa propre expérience.

1° La puissance (*fig.* 1, *pl. X*) qui a fait monter ce traîneau, agissait suivant une direction FB (*fig.* 2) presque parallèle au plan incliné CB, et cette même puissance, qui n'a pu faire monter la charrette, agissait suivant une direction AB (*fig.* 1), inclinée au même plan CB.

2° Le traîneau n'étant autre chose que la charrette dont on avait ôté l'essieu et les roues, était beaucoup plus léger que la charrette : on avait donc donné au traîneau deux avantages sur la charrette.

On a donné le premier avantage au traîneau, en le tirant suivant la direction la plus avantageuse ; savoir : suivant la direction parallèle au plan.

On a donné au traîneau le second avantage sur la charrette, en le faisant plus léger qu'elle : il n'est donc pas étonnant que la même puissance P qui a enlevé le traîneau n'ait pu enlever la charrette.

L'expérience même a fait voir que le traîneau n'avait point d'autres avantages sur la charrette, que ceux qu'on lui avait donnés ; car ayant ôté au traîneau le second avantage, c'est-à-dire, l'ayant chargé des roues et de l'essieu pour le rendre aussi pesant que la charrette, la puissance P, qui n'a pu monter la charrette, et qui avait pu monter le traîneau sans être chargé des roues et de l'essieu, n'a pu monter le traîneau quand il en a été chargé, quoique le traîneau eut encore sur la charrette le premier avantage, qui est celui de la direction du tirage.

On doit convenir que dans les chemins pavés, le traîneau a un avantage réel sur la charrette, en ce que le traîneau glisse sur le pavé comme sur un plan, au lieu que la charrette a souvent ses roues enfoncées entre deux pavés, et est forcée de monter comme sur un plan ED perpendiculaire au rayon AF, et par conséquent plus roide que le plan FGHI, que le traîneau toucherait dans les seuls points culminans des pavés. Il faut aussi avouer que la charrette a un autre avantage sur le traîneau, en ce que le frottement de l'essieu de la charrette dans le moyeu de ses roues, est moindre, et plus facile à vaincre que le frottement du traîneau sur le pavé.

1° Le frottement dans le moyeu des roues est moindre, parce que la surface frottante est plus petite, et qu'elle peut être enduite de graisse qui fait l'office de rouleaux entre le moyeu et l'essieu ; ce que l'on ne saurait faire dans le traîneau simple.

2° Le frottement de l'essieu dans le moyeu est plus facile à vaincre que celui du traîneau sur le pavé, quand même les frottemens seraient les mêmes; car on n'a aucun levier pour vaincre le frottement du traîneau contre le pavé, et l'on a presque tout le rayon de la roue pour vaincre le frottement qui se fait dans le moyeu : de sorte que la tenacité du frottement est à la force qui peut le vaincre, étant appliqué à la circonférence de la roue, comme le rayon de l'essieu est au rayon de la roue.

Cet avantage est si considérable, qu'il compense et au-delà les désavantages que trouve la charrette dans l'inégalité du pavé.

On voit tous les jours des charrettes attelées de trois chevaux porter autant de pierres qu'un traîneau attelé de sept à huit.

Une si grande supériorité de la charrette sur le traîneau pour porter les fardeaux, pourrait passer pour un paradoxe, si la charrette n'avait d'autres avantages sur le traîneau que la facilité de vaincre le frottement.

On pense que cet avantage est compensé et détruit par les difficultés que la charrette trouve à passer par-dessus les éminences du pavé; mais cette difficulté même qu'elle trouve dans son chemin, se compense en partie par les avantages qui la suivent.

Si la charrette trouve quelques difficultés à monter l'éminence d'un pavé, elle trouve ensuite de la facilité à descendre de l'autre côté du pavé; elle acquiert même en le descendant, par son propre poids, une force capable de lui faire monter une partie de l'éminence du pavé suivant, et cette force acquise, aidée de la puissance moyenne des chevaux, suffira pour monter ce pavé en entier, quoique cette puissance moyenne des chevaux ne soit point seule capable de le lui faire monter. Ainsi, une charrette en repos, prête à monter l'éminence d'un pavé, ayant reçu, pour la mettre en mouvement, un coup de collier plus vif que la force moyenne des chevaux, n'a plus besoin dans la suite que de cette force moyenne pour continuer son mouvement. La charrette trouve donc souvent des avantages dans les difficultés même qu'elle rencontre : ce qui n'arrive point dans le traîneau qui a besoin d'une puissance presque toujours égale à celle qui a commencé à le mouvoir.

C'est donc une erreur de dire que le traîneau est plus avantageux que les voitures ordinaires.

Je ne prétends pas détruire les avantages du traîneau : je sais qu'il en a de réels; mais ces avantages ne consistent pas dans la facilité du transport des marchandises : ils consistent seulement dans leur sûreté. Quantité de corps arrivent sans accident au lieu de leur destination, qui ne pourraient soutenir les cahots d'une charrette.

Les réflexions de M. Couplet sur la charrette et sur le traîneau lui ont donné occasion de faire quelques observations sur le tirage des chevaux attelés ; et je crois que c'est ici l'occasion d'en donner un extrait.

Pour faire tourner et avancer une roue sur un terrain supposé horizontal et uni, il faut que, tandis qu'un des rayons de la roue est posé verticalement sur ce terrain où il est attaché par tout son poids, une puissance appliquée au centre de la roue où est l'extrémité supérieure de ce rayon, la tire à elle, de façon que l'extrémité inférieure se détache du point du terrain qui était le point d'appui du rayon. Si la puissance tire obliquement, ce qui est le cas général, la perpendiculaire tirée du point d'appui sur cette direction oblique, sera, comme on doit le savoir, la distance de l'action de la puissance au point d'appui, ou bien le bras du levier par lequel elle agira ; et plus ce bras sera long, plus elle agira avantageusement. Afin que ce bras du levier soit le plus long qu'il est possible pour une direction oblique, il faut, le point d'appui étant connu au sommet d'un angle formé par une horizontale et une verticale, et la direction oblique étant l'hypothénuse de cet angle droit, il faut, dis-je, que cette hypothénuse fasse, avec chacun des deux autres côtés, un angle de 45 degrés ; car alors il est démontré que la perpendiculaire tirée du sommet de l'angle droit sur cette hypothénuse, sera plus grande que toute autre perpendiculaire tirée sur la même hypothénuse autrement posée : il est très-aisé de s'en convaincre même à l'œil.

La direction de la puissanee agissant, selon eette hypothénuse supposée, il est bien eertain qu'il n'y a qu'une moitié de son effort employée à tirer la roue horizontalement, et que l'autre moitié l'est, ou à porter une partie du poids de la roue et à la soulever, si la puissanee agit du bas en haut; ou à presser cette roue contre le terrain, et à l'y appliquer plus qu'elle ne l'était déjà par son propre poids, si la puissanee agit du haut en bas. Le levier est le plus avantageux pour produire un mouvement composé de l'horizontal et de l'un ou de l'autre de ees deux vertieaux; mais, quand on veut faire rouler une roue, ou ne lui donner qu'un mouvement horizontal, qui ne coûterait absolument rien, si le terrain était parfaitement uni, et qui ne demande de la foree qu'à eause des inégalités de ee terrain, et des frottemens qu'il faut vainere, on est bien éloigné de ehercher à soutenir une partie du poids de la roue, ou à l'appliquer davantage contre le plan. Il ne faut done pas que la direction de la puissanee soit oblique au plan, mais parallèle; et, eomme alors cette puissance agit toujours perpendieulairement au rayon vertieal, à l'extrémité supérieure duquel elle est appliquée, ee rayon est son levier naturel et néeessaire.

Un cheval tire par son poitrail; et puisqu'il doit tirer parallèlement au terrain horizontal, l'élévation de ee poitrail sur le terrain doit être aussi eelle du centre de la roue ou la longueur des rayons, et eelle du levier de la puissanee.

De là il suit que tout le reste étant égal, le eheval le plus haut est le meilleur; il permettra que la roue ait un plus grand rayon, si on la règle sur lui, et il se donnera à lui-même un plus grand levier. Il ne s'agit ici que des voitures qui n'ont que deux roues égales, eomme les eharrettes.

Si la eharrette reneontre en son ehemin quelque éminenee d'une eertaine hauteur vertieale, par-dessus laquelle elle doive passer, la puissanee des chevaux qui aurait suffi pour faire avan-

cer la charrette horizontalement, ne suffira plus pour lui faire surmonter cette éminence. M. Couplet détermine géométriquement quelle doit être en ce cas la puissance agissant toujours selon une direction horizontale. Cela se trouve aisément par le rapport des leviers, dont l'un est celui de la charge totale de la charrette, l'autre celui de la puissance : tous deux ayant pour appui le point le plus élevé de l'éminence, et étant supposés en équilibre.

L'usage commun est que le centre de la roue soit un peu plus bas que le poitrail du cheval; moyennant quoi, le tirage, qui ne perd guère de son parallélisme au terrain, gagne pourtant assez de direction verticale pour soutenir et soulever la charge de la charrette, autant qu'il est nécessaire à la rencontre des obstacles médiocres.

Lorsqu'au lieu d'une charrette on place un traîneau, alors le cheval ne peut plus tirer parallèlement au terrain : il tire de bas en haut, selon une direction oblique, dans laquelle entre nécessairement du vertical, et, par conséquent, il soutient une partie de la charge du traîneau ; mais aussi comme il le soulève d'autant, il en diminue le frottement contre le terrain. Ce qu'il y a de vertical dans cette direction oblique est d'autant plus grand, que le traîneau a sa surface supérieure plus élevée au-dessus du terrain, et que les traits du cheval sont plus courts ; car ils sont plus près d'être verticaux. Si les traits étaient infiniment longs, le tirage deviendrait parallèle au terrain, et le cheval ne porterait plus rien de la charge du traîneau.

Les charrettes les plus avantageuses pour le tirage et pour la commodité, ne sont pas celles dont les roues sont les plus hautes, et où le tirage donné de longueur tire suivant la direction la plus avantageuse ; il faut tout combiner dans la construction d'un instrument dont l'usage est fréquent : on a non-

seulement égard à la conservation et à la commodité des animaux qu'on emploie, mais encore au coût et à la solidité de la voiture.

L'usage ne donne que six à sept pieds de diamètre aux plus grandes roues : par-là, le poitrail du cheval se trouve un peu au-dessus du centre de l'essieu, et par conséquent le tirage a pour levier presque tout le rayon de la roue.

On appelle camions ces petites voitures servant avantageusement à transporter les déblais de terre qu'on est obligé de faire pour régler les pentes des chemins. Les roues ne doivent pas avoir plus de trois pieds et demi de diamètre de dehors en dehors. L'essieu traverse le camion à peu près par son milieu, un peu au centre de gravité, et sa capacité est telle, qu'elle contient exactement une partie de la toise cube : le camion peut contenir un dix-septième de toise cube, ou un peu plus de sept pieds cubes, lorsqu'il est bien conditionné : il peut coûter 72 fr.

Il y a deux manières de s'en servir. La première, de le faire tirer par des hommes : dans ce cas, il a un timon, deux traverses, dont une avec deux crochets de fer ; deux hommes s'attèlent par des bretelles, et s'appuyant sur la première traverse, exerçent, en la poussant, une force double avec un effort plus simple.

L'autre manière est de le faire tirer par des chevaux : un seul cheval peut tirer facilement trois camions, et quelquefois quatre dans la belle saison ; pour cela, on ajoute au derrière du camion une traverse, au milieu de laquelle est un anneau de fer, pour recevoir un crochet qui doit se trouver au bout du timon du camion que l'on veut ajouter, et qui, pour lors, n'a pas besoin de traverse pour l'attelage. L'essieu, traversant le camion un peu au-dessous du centre de gravité, est retenu par un des côtés, au moyen d'un crochet qui, lorsqu'il est levé, abandonne la caisse à son poids excentrique, et lui permet de se renverser sous le plus léger mouvement d'impulsion du conducteur.

Une question qui a été traitée par plusieurs savans, et qui a un grand rapport avec la conservation des chemins, est celle de la forme la plus convenable à donner aux jantes des roues : doivent-elles avoir de la ressemblance avec le cylindre ou le cône ? Pendant très-long-temps les jantes coniques ont été préférées, au grand préjudice des routes ; mais enfin on a reconnu cette erreur, et aujourd'hui les roues cylindriques sont adoptées généralement. Il est par conséquent utile d'entrer dans des détails sur les motifs qui ont déterminé ce changement si avantageux. On sait que les propriétés du cylindre sont confirmées dans la pratique par l'effet des rouleaux ou des cylindres de fonte sur les promenades publiques ou les allées des jardins. Ils les rendent compactes, dures, unies et imperméables aux eaux pluviales ; ils les mettent conséquemment à l'abri des dévastations des fortes gelées. Ils ne brisent ni ne broient le gravier, surtout la première fois qu'on les roule, et dès qu'on a aplani et uni la surface.

Si l'on coupe un cylindre transversalement en plusieurs tronçons, chaque tronçon possédera toutes ces propriétés ; et si les jantes d'une roue de voiture sont exactement de la même forme, elles doivent aussi les avoir : de sorte qu'en roulant sur une route, elles produiront le même effet que le cylindre avec lequel on aplanit les allées de jardin.

Quand on combine les roues avec les jantes cylindriques par un axe, la tendance de chacune étant de s'avancer en ligne droite, elles marchent, dans cet état de combinaison, avec autant d'harmonie et d'unité, que quand elles formaient des portions du cylindre primitif ; elles ont la même facilité dans le mouvement, facilité si favorable aux bêtes de trait ; elles possèdent aussi les propriétés dont nous avons parlé, et qui sont si utiles à l'entretien des routes. Il n'y a pas plus de frottement dans

cette rotation simultanée de deux roues appliquées au même axe, que si chacune d'elles roulait séparément.

Enfin, toutes les propriétés du cylindre, dépendant totalement de l'égalité de chaque portion de son diamètre, et conséquemment de l'égalité de vitesse dans chaque partie de sa circonférence, lui sont propres et particulières ; et il est impossible d'obtenir les mêmes avantages de toute autre forme dans la circonférence d'une roue. Examinons un instant l'effet des jantes coniques, en roulant sur des rues pavées : elles paraissent avoir été construites pour en assurer la destruction.

Supposons que le plus grand diamètre d'une large roue conique porte sur un pavé, et le plus petit diamètre sur un pavé adjacent : l'un sera poussé en arrière, et l'autre en avant par l'effort des chevaux qui tirent le chariot ; et si cette force est assez considérable pour ouvrir le joint qui les rassemble, de manière que l'eau puisse s'y introduire, le mal est fait et s'étend bientôt à toute la chaussée. Cet effet des roues coniques a lieu d'une manière si peu apparente, qu'on s'en aperçoit à peine ; mais il n'existe pas moins. Les jantes cylindriques non-seulement éviteront ces inconvéniens, mais contribueront même à l'amélioration des rues ou chaussées pavées, en produisant, partout où la roue passera, l'effet de la demoiselle ; c'est-à-dire, en les rendant plus compactes et plus solides.

Je crois devoir placer ici l'extrait de l'instruction envoyée aux ingénieurs, le 25 juin 1807, par M. le Directeur-général des ponts et chaussées.

« Depuis long-temps on s'afflige des effets que produisent sur les routes le chargement excessif, et l'usage des roues à bandes et à jantes étroites.

» Les chaussées les plus solidement construites sont sillonnées par des masses qui ne portent que sur une surface étroite, et la font céder à la force de la pression.

» Le Gouvernement, qui ne néglige aucune des parties de l'administration publique, s'est occupé de la réforme de cet abus. Les lois du 29 floréal an 10, du 7 ventôse de l'an 12, les décrets du 4 prairial de l'an 13 et du 23 juin 1806, ont introduit un nouveau système. Des expériences ont été faites avec soin; elles avaient pour objet de trouver la largeur la plus convenable à donner aux jantes, d'après les effets de la pression de divers poids sur des surfaces données.

» Le résultat de ces expériences a fait connaître les dimensions qui réunissent le mieux les deux avantages qu'il fallait obtenir : diviser le poids sur une plus grande surface, et ne pas augmenter le frottement de manière à gêner la marche des voitures.....

» Je sais ce que l'on peut dire de l'état des chemins vicinaux, que les voitures à larges jantes sont obligées de parcourir avant d'atteindre les grandes routes. Il est beaucoup de ces chemins, sans doute, où, dans leur état actuel, les roues à larges jantes circuleraient difficilement ; mais il en est un plus grand nombre que l'usage seul de ces voitures, commencé dans la belle saison, rétablirait entièrement. C'est une grande erreur de croire que le frottement dans un mauvais chemin est plus grand, et cause plus de résistance avec de larges jantes qu'avec des jantes étroites. Les jantes larges ne touchent le sol que par le plan de leur circonférence, tandis qu'avec des jantes étroites qui s'enfoncent dans les ornières, le frottement a lieu encore sur les deux faces des bandes, et bien souvent sur les rayons.

» Dans le petit nombre de chemins où la largeur et la profondeur des ornières sont telles, que les larges jantes elles-memes s'y enfonceraient, les prescrire sera forcer la commune à de premières réparations, que cet état de choses prouve être devenues indispensables, et qui seront faites une fois pour toujours..... »

On a imaginé, pour entretenir et aplanir les chemins, un chariot porté sur deux rouleaux posés de front et parallèlement

l'un à l'autre, qui tournent sur deux pivots, comme la roue d'une brouette. Ces rouleaux sont de fer fondu ; ils ont deux pieds six pouces de diamètre ; ils sont creux, garnis par dedans de fortes planches, et traversés par un fuseau de fer, sur l'extrémité duquel portent les quatre planches qui soutiennent le corps de la charrette ; quoiqu'elles n'aient que deux pouces d'épaisseur, elles sont si bien emboîtées, qu'on peut mettre dessus tel fardeau que l'on veut. Les bouts des pivots tournent dans une crapaudine carrée, de manière qu'on peut les graisser aisément; mais il faut le faire souvent, surtout à l'égard des pivots intérieurs qui travaillent le plus. Ces rouleaux facilitent le mouvement de la charrette, lorsque le terrain est ferme et uni ; aplanissent et affermissent les chemins par lesquels ils passent, de même que les ornières. Il est vrai que ces rouleaux sont bas, mais la petitesse des pivots diminue le frottement : ce qui est un avantage considérable.

Il y a derrière chaque rouleau un coutre dont l'usage est de détacher l'argile qui peut s'y être attaché.

Le corps de la charrette n'étant élevé que de deux pieds six pouces au-dessus de la terre, en devient plus aisé à charger.

Les rouleaux, en y comprenant les pivots, ne pèsent guère plus que la moitié des roues ordinaires : on peut s'en servir avec un seul timon, et les employer à différens usages, en faisant quelques changemens au corps de la charrette.

Il est donc certain que les roues cylindriques conviennent le mieux pour l'usage des voitures sur les grandes routes; mais une considération importante et presque toujours négligée dans les voitures de commerce, est la nécessité de faire coïncider, autant que faire se peut, le centre de gravité de la voiture et de sa charge avec celui du cheval qui traîne. Dans la disposition actuelle, une portion de l'effort est destinée à des fonctions qui surchargent celle du tirage. La mode a heureusement corrigé ce

défaut dans les voitures de luxe : dans celles de commerce ou de travaux, il existe dans toute son intégrité. Ce serait cependant une construction facile et peu dispendieuse, celle de placer l'échantignole dessus l'essieu, et le brancard en-dessous, en assurant le tout par des boulons et des équerres convenables. Par cette disposition, le plancher de la voiture pourrait être baissé à volonté ; le chargement serait plus facile et la voiture moins versante. Cet abaissement a toutefois des limites ; elles sont fixées par l'enfoncement des roues dans les terres mobiles, et par la profondeur des torrens guéables. L'élévation du centre de gravité nuit à l'animal qui traîne et à la conservation des roues et des chemins. Il serait peut-être essentiel que les lois prescrivissent des dispositions pour cet objet, que je crois presqu'aussi important que celui de prévenir l'incision occasionnée par des jantes trop étroites lorsqu'elles supportent de grands fardeaux.

M. de Fossombroni publia en 1796 un Mémoire sur le principe des vitesses virtuelles. Je ne rapporterai point toutes les hypothèses de ce savant, qui n'entrent point dans le plan de mon ouvrage ; mais il termine son Mémoire en proposant deux changemens applicables au mécanisme des voitures de commerce, changemens que je crois fondés au moins dans la première espèce.

Il pense que l'essieu doit adhérer au système des roues et tourner avec elles. La préférence qu'il donne à cette méthode sur celle de faire tourner les roues autour d'un axe immobile est motivée par le raisonnement suivant : lorsque l'essieu est attaché au cadre du chariot et qu'il traverse une roue qui tourne sur lui, celle-ci est essentiellement sollicitée au mouvement par la pression que l'essieu exerce sur un point de la demi-circonférence inférieure dans la boîte qui embrasse la fusée ; que si l'axe fixé dans la roue traverse une cavité circulaire pratiquée dans le

chariot, les roues reçoivent alors la principale impulsion de rotation par la pression que le corps de la voiture exerce sur un point plus élevé dans la circonférence de l'axe. Or, dans cette deuxième hypothèse, la distance entre deux points plus ou moins élevés à l'horizon, étant dûment comparée avec le rayon de la roue, fournit un avantage assez remarquable dans plusieurs circonstances.

Le second changement projeté par M. Fossombroni est relatif à la disposition des roues : il propose l'idée d'un chariot à trois roues. Nous ne parlerons point de ce changement qui ne paraît ni fondé ni utile.

C'est ici le moment de parler du déplacement des matériaux d'un lieu à un autre.

Un objet important consiste à fixer dans le devis le prix du transport des matériaux, pour que le Gouvernement ne soit pas trompé, et que les entrepreneurs ne soient pas lésés.

Il faut, pour fixer le prix des transports, avoir égard à trois choses : aux prix locaux des denrées qui déterminent le prix de la main-d'œuvre, aux longueurs des distances, et aux pentes et rampes qui se trouvent dans la distance à parcourir ; et au poids des matériaux dont on fait le transport.

On a calculé une table assez générale pour les transports dans l'hypothèse où on aurait des atelages de 2, 3 et 4 chevaux, ce qui arrive assez souvent dans les grands travaux. On croit devoir la rapporter ici, en observant qu'on a supposé que le travail effectif est de 10 heures ; que l'espace parcouru pendant une heure est de 3600 mètres, et que le temps perdu à chaque voyage est de 15 minutes.

DISTANCE DU TRANSPORT EN MÈTRES.	NOMBRE DE VOYAGES PAR JOUR.	PRIX DU TRANSPORT DU MÈTRE CUBE, en supposant que tout l'atelage soit payé par jour à raison de			
		15f 00c	18f 00c	20f 00c	24f 00c
150m	30 »	0f 50c	0f 60c	0f 67c	0f 80c
160	29 ½	0 51	0 61	0 68	0 81
170	29 »	0 52	0 62	0 69	0 83
180	28 ½	0 53	0 63	0 70	0 84
190	28 »	0 54	0 64	0 71	0 86
200	27 ½	0 55	0 65	0 73	0 87
220	26 ½	0 57	0 68	0 75	0 91
240	26 »	0 58	0 70	0 77	0 92
260	25 »	0 60	0 72	0 80	0 96
280	24 ½	0 61	0 74	0 81	0 98
300	24 »	0 63	0 75	0 83	1 00
320	23 »	0 66	0 78	0 87	1 04
340	22 ½	0 67	0 80	0 89	1 07
360	22 »	0 68	0 82	0 91	1 09
380	21 ½	0 70	0 84	0 93	1 12
400	21 »	0 71	0 86	0 95	1 14
420	20 ½	0 73	0 88	0 98	1 17
440	20 »	0 75	0 90	1 00	1 20
460	19 ½	0 77	0 92	1 03	1 23
500	19 »	0 79	0 95	1 05	1 26
520	18 ½	0 81	0 97	1 08	1 28
540	18 »	0 83	1 00	1 11	1 33
560	17 ½	0 86	1 03	1 14	1 37
600	17 »	0 88	1 06	1 18	1 41
650	16 »	0 94	1 13	1 25	1 50
700	15 ½	0 97	1 16	1 29	1 55
750	15 »	1 00	1 20	1 33	1 60
800	14 »	1 09	1 29	1 43	1 71
850	13 ½	1 11	1 33	1 48	1 78
900	13 »	1 15	1 39	1 54	1 85
950	12 ½	1 20	1 44	1 60	1 92
1000	12 »	1 25	1 50	1 67	2 00
1100	11 ½	1 30	1 57	1 74	2 09
1200	11 »	1 36	1 64	1 82	2 18
1300	10 »	1 50	1 80	2 00	2 40
1400	9 ½	1 58	1 89	2 10	2 53

DISTANCE DU TRANSPORT EN MÈTRES.	NOMBRE DE VOYAGES PAR JOUR.	PRIX DU TRANSPORT DU MÈTRE CUBE, en supposant que tout l'atelage soit payé par jour à raison de			
		15f 00c	18f 00c	20f 00c	24f 00c
1500	9 »	1f 66c	2f 00c	2f 22c	2f 64c
1600	8 ½	1 76	2 12	2 35	2 82
1800	8 »	1 88	2 25	2 50	3 00
1950	7 ½	2 00	2 40	2 67	3 20
2100	7 »	2 14	2 57	2 86	3 43
2300	6 ½	2 30	2 76	3 08	3 69
2500	6 »	2 50	3 00	3 33	4 00
2700	5 ½	2 73	3 27	3 64	4 36
3100	5 »	3 00	3 60	4 00	4 80
3400	4 ½	3 33	4 00	4 44	5 33
4000	4 »	3 75	4 50	5 00	6 00
4400	3 ½	4 29	5 14	5 71	6 86
5800	3 »	5 00	6 00	6 67	8 00
6300	2 ½	6 00	7 20	8 00	9 60
9000	2 »	7 50	9 00	10 00	12 00
11000	1 ½	10 00	12 00	13 33	16 00
16000	1 »	15 00	18 00	20 00	24 00

Il faut considérer maintenant les talus des rampes; car on sent bien qu'un cheval ne peut pas parcourir une aussi grande distance, toutes choses égales d'ailleurs, sur un chemin qui lui présente une montée rapide, que dans la plaine.

Il faut aussi avoir égard à l'état des chemins qui peuvent être plus ou moins rouagés ; et en raison de ces diverses circonstances, on examinera de combien on doit diminuer la charge que l'équipage pourra transporter à chaque voyage : ce qui servira à calculer le nouveau prix du transport.

L'économie exige, lorsqu'on transporte des déblais en remblais, qu'on dispose les voitures de manière à ce qu'il y ait toujours une voiture à la charge, et que l'atelage de celle qui revient à

vide, puisse prendre, pour retourner au remblai et sans perte de temps, une voiture chargée.

Lorsque les déblais sont trop éloignés des remblais, on les retrousse, et on fait les remblais au moyen d'emprunts qui sont, à la vérité, préjudiciables à l'agriculture, mais qui sont commandés par l'économie dans les dépenses, toutes les fois que le prix du transport en remblais est plus considérable que celui du transport et de la fouille de l'emprunt. On doit éviter, dans ce cas, d'enlever toute l'épaisseur de la couche de terre végétale.

Beaucoup de savans ont cherché à déterminer quelle était la distance moyenne la plus petite pour le transport de plusieurs solides de déblais. La mécanique apprend que la distance moyenne d'un solide de déblais, porté au remblai qu'il doit former, est la distance horizontale qui sépare les centres de gravité de l'un et de l'autre. Il résulte de ce principe que la distance moyenne pour tous les déblais est égale à la somme des produits partiels de chaque solide de déblai en remblai, par les distances des centres de gravité, divisée par la somme des cubes.

DEUXIÈME PARTIE.

DES PONTS.

CHAPITRE PREMIER.

NOTIONS ÉLÉMENTAIRES DE QUELQUES PRINCIPES DE PHYSIQUE ET DE MÉCANIQUE.

PRINCIPES DE PHYSIQUE.

Pour déterminer la force du choc d'un corps qui tombe sur un autre corps, il faut connaître trois choses : le poids absolu du corps qui tombe; l'accélération des vitesses acquises, ou les espaces parcourus pendant la durée de sa chute; enfin, son poids relatif, ou la force qu'il a acquise à la fin de cette même chute. Il n'y a pas de difficulté à connaître le poids absolu d'un corps, puisque, avant sa chute, il a un poids déterminé.

A l'égard de l'accélération de vitesse acquise pendant les instans de la chute du corps, il faut savoir d'abord que la vitesse d'un corps n'est autre chose que le plus ou le moins d'espace parcouru pendant la durée de son mouvement, que les espaces parcourus, ou les hauteurs desquelles tombent les corps, sont entr'eux comme les carrés des temps ou des vitesses, et que ces vitesses ou ces temps sont entr'eux comme les racines carrées des hauteurs ou des espaces parcourus.

Il faut donc connaître en combien de temps un corps pesant peut tomber depuis le commencement de sa chute, et connaître aussi la hauteur de la chute, pour avoir le rapport déterminé des espaces parcourus, des vitesses ou des temps avec lesquels ces espaces ont été parcourus. Un corps parcourt 15 pieds de hauteur de chute pendant la première seconde.

Il ne faut pas confondre le volume d'un corps avec sa masse : le volume est l'espace qu'un corps occupe en longueur et épaisseur, et la masse est la quantité de matière ou de poids que le volume contient en plus ou en moins.

Il résulte donc, de toutes les expériences faites sur l'accélération des corps, que, quelles que soient leur grosseur, leur pesanteur, leur densité, ils commencent à tomber avec une vitesse de 15 pieds par seconde; mais, après avoir parcouru 15 pieds dans la première seconde de temps, ils en parcourent trois fois autant dans la suivante, cinq fois autant dans la troisième, etc. Galilée reconnut le premier cette loi qui a été confirmée ensuite par toutes les expériences, et par la théorie de la pesanteur.

De là, il suit que les espaces entiers, parcourus depuis le commencement de la chute, sont comme les carrés des temps; car le corps qui n'avait parcouru qu'une perche à la fin de la première seconde, se trouve avoir parcouru quatre perches au bout de deux secondes, neuf après trois secondes, etc. Donc les espaces parcourus dans la chute des corps, sont comme les carrés 1, 4, 9, 16 des temps 1, 2, 3, 4.

Les espaces étant comme les carrés des temps, et les vitesses comme les temps pendant lesquels elles ont été acquises. Les espaces sont comme les carrés des vitesses, donc les vitesses sont comme les racines carrées des espaces parcourus, c'est-à-dire, des hauteurs d'où les corps doivent tomber, pour acquérir ces vitesses.

On peut dire également que les vitesses sont comme les racines carrées des hauteurs doubles, c'est-à-dire, des espaces qui seraient parcourus uniformément avec les mêmes vitesses acquises.

Notre atmosphère, par sa pesanteur, presse les corps les uns contre les autres, lorsqu'il ne se trouve point d'air entr'eux. Que l'on mette deux sphères concaves de cuivre l'une sur l'autre, et qu'on pompe l'air qu'elles contiennent, ces deux sphères tiendront l'une à l'autre, avec une force égale à toute la pesanteur de notre atmosphère, lorsqu'elle agit sur le plan d'un cercle dont la grandeur est égale à celle du plus grand cercle de cette sphère.

Tous les corps posés les uns sur les autres tiennent ensemble, et ils se tiennent d'autant mieux que leur surface est plus polie.

Les surfaces des grands corps sont en général fort raboteuses; lorsqu'ils sont posés les uns sur les autres, ils ne se touchent que par un petit nombre de points, et ils sont séparés dans un très-grand nombre. La vertu attractive qui les unit, agit très-fortement sur les parties qui sont en contact, et elle agit plus faiblement sur celles qui sont à une petite distance les unes des autres. Plus les aspérités qui sont répandues sur les surfaces des corps sont petites, et moins ces surfaces sont éloignées. Aussi, les corps dont les surfaces sont bien polies, s'attirent plus puissamment et contractent entr'eux une plus grande adhérence.

Pour que les surfaces deviennent plus unies, moins inégales, moins raboteuses, il faut avoir soin de les oindre avec un fluide gras, dont les parties subtiles puissent remplir leur cavité, se trouver, pour ainsi dire, au niveau de leurs petites éminences, et enfin, obstruer la plus grande partie de leurs pores; c'est pourquoi les anciens enduisaient d'huile les pierres après les avoir bien polies, et elles paraissaient alors ne former qu'un seul et même corps.

Nous ne considérerons l'air que dans celles de ses propriétés qui peuvent avoir rapport à l'art de l'ingénieur : telles sont la fluidité , la pesanteur , l'élasticité.

La fluidité de l'air est très-grande , parce qu'il est composé de parties extrêmement rares , sphériques , mobiles , petites et légères , qui ne s'altèrent que faiblement , qui , au contraire , se repoussent , et qui , par conséquent , peuvent être séparées les unes des autres fort aisément.

Comme fluide , l'air presse dans toutes sortes de directions avec la même force. Sa pression latérale égale sa pression perpendiculaire. Toute la masse d'air qui environne la terre s'appelle atmosphère , et l'on peut déterminer son poids ainsi que nous allons le voir.

Si on remplit de mercure un long tube de verre , ouvert d'un côté et fermé de l'autre , et qu'après l'avoir renversé on le plonge dans un petit vase rempli de mercure , on voit le mercure tomber en quelque sorte hors du tube , mais il reste suspendu ordinairement à la hauteur de 29 pouces dans nos climats : il est donc démontré , par cette expérience , que la pesanteur de notre atmosphère est en équilibre avec celle du mercure dans le tube.

On connaît à peu près la grandeur de la terre , et on peut supposer que la pression de l'air est partout en équilibre avec une colonne de mercure de 29 pouces ; par conséquent tout le poids de l'atmosphère équivaudrait au poids d'un océan de mercure , qui couvrirait la surface de la terre jusqu'à la hauteur de 29 pouces ; or , ce poids , suivant le calcul de Bernouilli , égale 6,687 , 360 , 000 , 000 , 000 , 000. Cette pesanteur est énorme , et cependant on ne s'aperçoit pas que le corps soit comprimé par un tel poids. Selon les calculs faits par Mussembrock , un homme d'une taille ordinaire , est pressé par l'air comme par un poids de plus de 42 mille livres.

La pesanteur de l'air, comparée à celle de l'eau, est quelquefois dans le rapport de 1 à 800 : ce rapport n'est pas très-constant; il varie, suivant les pays et les saisons, de 1 à 600, à 1000. Si donc un pied cubique d'eau pèse 63 l. 34 grains, et que la gravité spécifique de l'air soit à celle de l'eau comme 1 est à 700, un pied cubique d'air pèsera 694 grains.

L'air exposé à l'action du feu se raréfie : d'où il suit que l'élasticité de l'air, cette propriété en vertu de laquelle il tend à se développer en toutes sortes de sens, augmente et acquiert une plus grande intensité, lorsque le feu déploie son action contre ce fluide; au contraire l'air exposé au froid se condense et se réduit à un moindre volume, comme s'il perdait une partie de son ressort.

La dilatation de l'air, prise depuis le terme de la glace jusqu'à la plus grande chaleur, peut être dans le rapport de 6 à 7.

Une masse d'air peut être dilatée par le feu jusqu'à contenir une espace trois à quatre mille fois plus grand.

La pesanteur est cette propriété en vertu de laquelle tous les corps que nous connaissons tombent et s'approchent du centre de la terre, lorsqu'ils ne sont pas soutenus.

La force qui fait tomber les corps est toujours uniforme, et elle agit également sur eux à chaque instant.

Les corps tombent vers la terre d'un mouvement uniformément accéléré.

Leurs vitesses sont comme les temps de leur mouvement.

Les espaces qu'ils parcourent sont comme les carrés des temps, ou comme le carré des vitesses; et, par conséquent, les vitesses et les temps sont en raison sous-doublée des espaces.

L'espace que le corps parcourt en tombant, pendant un temps quelconque, est la moitié de celui qu'il parcourrait pendant le même temps d'un mouvement uniforme avec la vitesse acquise; et par

conséquent, cet espace est égal à celui que le corps parcourrait d'un mouvement uniforme, avec la moitié de cette vitesse.

La force qui fait tomber les corps vers la terre, est la seule cause de leur poids; car, puisqu'elle agit à chaque instant, elle doit agir sur les corps, soit qu'ils soient en repos, soit qu'ils soient en mouvement; et c'est par les efforts que ces corps font sans cesse pour obéir à cette force, qu'ils pèsent sur les obstacles qui les retiennent.

Nous avons déjà dit qu'il faut distinguer avec soin la pesanteur des corps, de leur poids. La pesanteur, c'est-à-dire, cette force qui anime les corps à descendre vers la terre, agit de même sur tous les corps, quelle que soit leur masse. Mais il n'en est pas ainsi de leur poids; car le poids d'un corps est le produit de la pesanteur par la masse de ce corps. Ainsi, quoique la pesanteur fasse tomber également vite, dans la machine du vide, les corps de masse inégale, leur poids n'est cependant pas égal.

Les différens poids des corps d'un volume égal dans le vide, servent à connaître la quantité relative de matière propre et de pores qu'ils contiennent: c'est ce qu'on appelle la pesanteur spécifique des corps.

Un corps plongé dans un fluide qui est d'une pesanteur spécifique moindre que lui, perd de son poids une partie égale à celle d'un pareil volume de fluide. En effet, si un corps était du même poids que l'eau, il s'y contiendrait en quelqu'endroit qu'on le plaçât, puisqu'il serait alors dans le même cas qu'une portion de fluide qui lui serait égale et semblable en grosseur et en volume. Ainsi, dans ce cas, il ne ferait aucun effort pour descendre; donc, lorsqu'il est plus pesant qu'un pareil volume de fluide, l'effort qu'il fait pour descendre est égal à l'excès de son poids sur celui d'un égal volume de fluide. Par conséquent, un corps perd plus de son poids dans un fluide plus pesant que dans un

fluide qui l'est moins, et pèse par conséquent plus dans un fluide plus léger que dans un plus pesant; de plus, toutes choses égales d'ailleurs, plus un corps a de volume, plus il perd de son poids dans un fluide où on le plonge : de là, il s'ensuit qu'une livre de plomb et une livre de liége, qui sont également pesantes lorsqu'elles sont pesées dans l'air, ne le seront plus dans le vide : la livre de liége sera plus pesante que la livre de plomb, parce que la masse de liége qui pesait une livre dans l'air, perdait plus de son poids que la masse de plomb qui avait moins de volume. Si le corps est moins pesant qu'un égal volume de fluide, alors il ne s'enfonce pas tout-à-fait dans le fluide : il surnage et il s'enfonce dans le fluide jusqu'à ce que la partie enfoncée occupe la place d'un volume de fluide, qui serait d'une pesanteur égale à celle du corps entier.

Je joins ici une table du poids d'un pied cube des différentes matières dont on fait usage.

	Pied cube.		Pied cube.
Or	1355 liv.	Schistes . . .	190 liv.
Argent . . .	735	Bazalte	169
Cuivre	545	Ardoise. . . .	156
Plomb	794	Chaux vive. . .	59
Fer	545	Mortier de chaux et sable . . .	120
Etain	510	Plâtre gâché . .	104
Terre ordinaire .	95	Tuile	127
Terre grasse . .	115	Brique	132
Terre argileuse .	135	Sable de rivière .	132
Pierre à bâtir . .	120	Sable de terrain .	120
Pierre à plâtre .	155	Eau de puits . .	72
Grès.	180	Eau de rivière. .	69
Marbre	190	Eau de fontaine .	70
Quartz	186	Eau de mer . .	73
Cailloux . . .	182	Air . . 1 once	3 grains.
Pierre meulière .	174		
Granit	185		

NOTA. On parlera du poids des bois quand on traitera de cette espèce de matériaux.

On conçoit aisément que ces pesanteurs varient selon la nature et la qualité des espèces ; mais les différences qui existent sont de peu d'importance dans l'emploi qu'on peut faire de ces matériaux.

La pression est proprement l'action d'un corps qui fait effort pour en mouvoir un autre.

La pression se rapporte également au corps qui presse et à celui qui est pressé.

La pression de l'air sur la surface de la terre est égale à la pression d'une colonne d'eau de même base, et d'environ 32 pieds de haut ; ou d'une colonne de mercure d'environ 28 pouc.

La pression de l'air sur chaque pied carré de la surface de la terre, est d'environ 32 fois 70 livres ; ou 2,240 livres, parce que le poids d'un pied cube d'eau est d'environ 70 livres.

La densité est la propriété des corps, par laquelle ils contiennent plus ou moins de matière sous un certain volume, c'est-à-dire, dans un certain espace. Ainsi, on dit qu'un corps est plus dense qu'un autre, lorsqu'il contient plus de matière sous un même volume. La densité est opposée à la rareté ; par conséquent, comme la masse est proportionnelle au poids, un corps plus dense est d'une pesanteur spécifique plus grande qu'un corps plus rare ; et un corps est d'autant plus dense, qu'il a une plus grande pesanteur spécifique. La densité et le volume des corps sont deux des points principaux, sur lesquels sont appuyées les lois de la mécanique.

On peut comparer les densités des fluides, en y plongeant un corps solide ; car, si on plonge successivement dans les liquides qu'on veut comparer, un corps solide qui soit plus léger qu'aucun de ces liquides, les parties de ce solide s'enfonceront entre elles, en raison inverse des densités des liquides. En effet, il est évident, par les principes de l'hydrostatique, que la partie

déplacée dans chaque fluide sera toujours d'un poids égal au solide qui y est plongé : ainsi, cette partie déplacée, qui est égale à la partie enfoncée du corps, sera de même poids dans tous les fluides, et sera, par conséquent, en raison inverse de la densité.

PRINCIPES DE MÉCANIQUE.

L'homme faible et ambitieux, environné d'animaux la plupart plus forts que lui, qu'il voulut asservir, dévoré par le besoin et l'orgueil au milieu de la nature sauvage et colossale qu'il entreprit aussi de maîtriser, employa toutes les ressources de son génie pour vaincre les obstacles qui s'opposaient à sa domination; l'art lui fournit les moyens de multiplier ses forces, et dès-lors rien ne put lui résister. Les animaux subirent le joug; la nature fut soumise; la terre changea, pour ainsi dire, de face, et il serait parvenu à la déplacer à sa volonté, si l'univers lui eût offert un point d'appui à sa portée; ainsi l'homme, par le secours de la mécanique, devint le plus puissant des êtres.

La mécanique ne fut d'abord qu'un art-pratique qui s'est étendu à mesure que les besoins de l'homme se sont multipliés. Le levier dut être la première puissance qu'il mit en usage; le treuil, la poulie, le plan incliné, le coin, la vis dérivent de cette première puissance, et n'en sont que des combinaisons qui en multiplient l'action à l'infini. C'est en observant la marche de ces combinaisons, que l'homme a formé la science de la mécanique spéculative, par laquelle on peut établir des démonstrations exactes. La mécanique-pratique renferme tous les arts manuels qui portent leur nom; la géométrie même, selon Newton, est fondée sur des pratiques mécaniques.

La mécanique spéculative est la science des mouvemens qui résultent de toute force, et la science des forces nécessaires pour

produire un mouvement quelconque. On peut donc regarder la mécanique comme la partie des mathématiques, qui a pour objet les lois du mouvement et de l'équilibre, les forces mouvantes, etc. ; c'est l'art de parvenir à de grands résultats par des moyens simples. Ainsi, pour lever une pierre que les forces réunies de deux hommes pourraient à peine soulever, il ne faut à un enfant qu'un bâton, c'est-à-dire, un levier. Le cric, mis en mouvement par une main faible, soulèvera un poids énorme ; enfin, rien n'est, pour ainsi dire, impossible à l'homme, avec le secours de la mécanique.

Galilée fit de grandes découvertes en mécanique. Ses premiers ouvrages parurent à la fin du quinzième siècle. Il réduisit la statique à ce principe unique et universel, d'où découlent, comme autant de corollaires, toutes les propriétés des machines : il faut le même temps à une puissance pour enlever à une certaine hauteur, un poids donné, de quelque manière qu'elle le fasse, soit qu'elle l'enlève tout d'un coup, soit que, le partageant en parties proportionnées à sa force, elle le fasse à plusieurs reprises ; en effet, de quelques combinaisons d'agens que nous fassions usage, la nature, si nous pouvons parler ainsi, ne saurait rien perdre de ses droits. Une puissance déterminée, n'est capable que d'un effet déterminé, et cet effet est d'autant plus grand, que la masse transportée dans un certain temps, parcourt un espace plus grand, ou que l'espace étant le même, elle le parcourt dans un moindre temps. Il faut donc pour que l'effet subsiste le même, que le temps soit réciproque avec la masse : ainsi tout l'avantage des machines, consiste en ce que par leur moyen, on peut exécuter dans une seule opération, ce que par l'application seule de la puissance, on n'aurait pu faire qu'à plusieurs reprises. Voici un autre avantage des machines : comme nous sommes plus maître du temps que de la grandeur

des puissances à employer, elles nous mettent à portée de faire en un temps plus long, avec de moindres forces, ce que des puissances plus grandes ou plus multipliées auraient exécuté plus promptement; enfin, ce qu'on gagne dans l'épargne de la puissance, on le perd du côté du temps, et précisément dans le même rapport; d'où l'on doit conclure, avec Galilée, que les machines les plus avantageuses, sont toujours les plus simples; car, plus une machine est compliquée, plus il y a d'effort perdu à surmonter les frottemens.

Il faut, dit Descartes, autant de forces, c'est-à-dire, la même quantité d'efforts pour élever un poids à une hauteur, que pour élever le double à une hauteur moindre de moitié; car, dit-il, élever cent livres à la hauteur d'un pied, et de nouveau cent livres à la même hauteur, c'est la même chose qu'élever deux cents livres à la hauteur d'un pied, ou cent à celle de deux, l'effet est le même, et, par conséquent, il faut la même quantité d'action. C'est encore à Descartes que nous devons une partie de nos découvertes sur les propriétés du mouvement. Il prend pour principe de toute la physique mécanique : 1° que le mouvement subsiste dans un corps avec la même vitesse et la même direction, tant qu'aucun obstacle ne le détruit point, ou ne change point cette vitesse et cette direction; 2° que tout mouvement ne se fait de sa nature qu'en ligne droite; de sorte qu'un corps ne se meut dans une ligne courbe, que parce que sa direction est continuellement changée par quelque obstacle, sans lequel il s'échapperait par la tangente, au point où cet obstacle cesserait.

On réduit ordinairement à six les machines simples, qui sont, le levier, la poulie, le vindas, le plan incliné, le coin et la vis : on peut même encore réduire ces six puissances à une seule, le levier, si l'on en excepte le plan incliné, qui ne s'y réduit pas si sensiblement. Toutes les machines composées sont

faites de quelques-unes de ces machines simples, qui en forment comme les parties : en sorte qu'il est facile de connaître les formes qu'on peut mettre en œuvre à l'aide de ces machines composées, dès qu'on est d'abord bien au fait de ce que peuvent celles qui sont simples.

J'ai dû parler de chacune de ces machines simples, et j'en ai dit assez pour rappeler à celui qui les aurait oubliés, les principes avec lesquels il pourrait inventer ou faire exécuter les machines composées. Je terminerai cet article par l'extrait d'un Mémoire sur la théorie des machines, où l'on trouve des notions suffisantes sur les principes qui doivent diriger les praticiens dans tous les cas importans.

Si nous examinons les machines dont le mouvement se fait autour d'axes fixés, nous trouverons que cette classe est la plus nombreuse et la plus importante, puisqu'elles comprennent, dans leur construction et dans leurs opérations, les grands principes de la théorie. Afin d'avancer avec ordre, il est nécessaire de donner une idée précise d'une force motrice, telle qu'on l'applique au mécanisme en général, et de la manière de la mesurer.

Nous prenons pour la mesure (puisque c'est l'effet) d'une puissance mécanique exercée, la quantité du mouvement qu'elle produit par son effort uniforme dans un temps donné. Nous disons *effort uniforme*, non que cette uniformité soit nécessaire, mais seulement parce que s'il arrive quelque variation dans l'effort, elle doit être connue, afin de pouvoir juger la puissance : cependant ceci rendrait les calculs très-compliqués; mais, de quelque manière que l'effet ait varié, on peut mesurer encore avec assez de justesse tout l'effort accumulé par la quantité de mouvement existant à la fin de cet effort. Ce raisonnement est très-facile à concevoir pour l'homme habitué à ces sortes de discussions; mais nous écrivons pour les personnes qui construisent les machines,

comme pour celles qui s'en servent, et il faut essayer de nous rendre aussi clairs qu'il sera possible.

Supposons qu'un homme qui presse, d'une manière uniforme, pendant cinq secondes sur une masse de matière, y développe une vitesse de 6 pieds 9 pouces dans la cinquième seconde, nous aurons un terme de comparaison entre cet effort et l'effet mécanique de la pesanteur. En effet, nous pourrons dire que, dans ce cas, la force exercée par l'homme a été un vingtième de l'effet de la gravitation, puisqu'un corps tombant librement parcourt 135 pieds dans la cinquième seconde, et que 6 pieds 9 pouces sont le 20e de 135 pieds.

Examinons plus attentivement les sens de notre expression, quand nous disons que, dans un cas comme ici, l'effort de l'homme est un vingtième de l'effet de la gravitation. La seule notion que nous ayions de l'effort de la pesanteur, est ce que nous appelons le poids d'un corps, c'est-à-dire, la pression qu'il opère sur la main ; cependant on n'explique rien, en disant qu'un corps pèse vingt livres, parce que ce n'est que l'action de la gravité sur une autre masse de matière ; les deux pressions sont égales : mais si ce corps pèse vingt livres, il fera fléchir jusqu'au numéro 20 l'aiguille d'une romaine à ressort divisé de livre en livre, tandis que le vingtième de cette pression ne porterait l'aiguille qu'au n° 1 ; or, il est de fait que si un homme presse uniformément pendant cinq secondes sur une masse de matière pesant vingt livres, et qu'il opère cette pression au moyen d'une romaine à ressort (pourvu que pendant les cinq secondes l'aiguille de la romaine soit constamment restée au n° 1), il est de fait, disons-nous, que la masse de matière aura développé une vitesse de 6 pieds 9 pouces dans la cinquième seconde ; c'est un fait reconnu. On peut donc dire que l'effort de l'homme a été égal à un vingtième de l'effort de la gravita-

tion, et puisque nous croyons que le poids des corps est en proportion de leur quantité de matière, toute matière ayant une égale pesanteur, nous pourrons dire que l'effort de l'homme a été égal à l'action de la pesanteur sur une quantité de matière, dont le poids serait d'une livre. On dira donc, pour simplifier l'expression, que l'homme a exercé la pression d'une livre, ou la force d'une livre.

Ainsi, le mouvement communiqué à une masse de matière, lorsqu'on agit sur elle pendant un temps quelconque, sert à nous indiquer avec exactitude, la force mécanique réelle, ou la pression exercée. On estime cette force double, lorsque la vitesse a été doublée dans la même masse, ou lorsqu'on a produit la même vitesse dans une masse double, parce qu'on sait qu'une pression double aura produit l'un ou l'autre effet. Nous savons que cette pression est due à l'effort qu'on a exercé ; car nous n'avons pas d'autre mesure de notre propre force. Nous savons aussi que la continuation de cette pression fatigue et épuise notre force aussi complètement que le mouvement le plus violent. L'élan d'un cheval attelé à un poteau fiché dans la terre, est le moyen employé pour décider de sa vigueur. On sait que personne ne peut tenir le bras tendu dans une position horizontale pendant un quart-d'heure ; et l'effort exercé pendant les dernières minutes, occasionne une fatigue si sensible, que l'épaule refuse ensuite ses fonctions pendant long-temps : c'est donc un véritable épuisement de force mécanique, dans l'acception rigide du mot. Nous pouvons nous procurer une mesure exacte et suffisante de cette dépense de force mécanique, par la quantité du mouvement produit, c'est-à-dire, dans le produit de la quantité de matière par la vitesse qui résulte de cet effort ; et il est bon d'observer que cette mesure s'applique aux cas où l'effort n'a produit aucun mouvement. Il y a un moyen facile de comprendre ce que nous

avançons. Supposons qu'un bloc de pierre soit poussé sur une surface de pierre polie, et que l'effort qu'on emploie approche le plus possible de celui qu'il faudrait pour le faire marcher : il est clair qu'avec la moindre addition de force possible, on le fera mouvoir; et si cette addition peut produire, en une seconde, une vitesse de 27 pieds dans un bloc que nous supposons être de 100 livres, nous sommes certains que la pression employée était égale à 100 livres. C'est une bonne méthode d'appréciation, et on peut l'employer sans danger d'erreur, lorsqu'il n'y en a pas de meilleure.

Quelle sera la quantité précise du mouvement dans une machine d'une construction donnée, animée par une puissance dont la manière d'agir, ainsi que l'intensité, sont connues, et qui rencontre une résistance également connue? La solution de cette question dépend, en grande partie, de la nature, de la force et de la résistance. Dans la construction statique des machines, on ne tient pas compte de ces différences.

L'intensité de la pression est tout ce qu'il est nécessaire d'observer, afin de fixer la proportion de la pression qui sera exercée dans les diverses parties de la machine. Les pressions aux points d'impulsion et de travail, combinées avec les proportions de la machine, déterminent nécessairement le reste; car la pression étant l'unique cause de toute action mécanique parmi les corps, une pression quelconque peut être substituée à une autre qui lui est égale; et la pression qui est la plus familière ou la plus facile à concevoir, peut être employée à représenter toutes les autres. C'est ce qui a déterminé les auteurs à se servir de la pression exercée par la pesanteur, comme moyen de comparaison en mécanique, et à représenter toutes les forces et résistances par des poids. Quoique ce moyen soit très-bon dans des mains habiles, il a pourtant nui aux progrès de la science; il a rendu les traités

élémentaires de mécanique très-imparfaits, en limitant les expériences et les démonstrations à ce qui pouvait facilement y être ainsi représenté. On s'est borné à l'état de l'équilibre, état où une machine travaillante ne se trouve jamais, parce que les démonstrations par expériences, hors de cet état, ne sont ni palpables ni faciles.

Dans la considération statique des machines, la quantité de pression est tout ce que nous devons observer; mais dans la discussion mécanique de leurs opérations, nous devons faire attention à les distinguer par leur nature; car il ne suffira pas de les représenter toutes par des poids, parce que la distinction de leur nature est accompagnée de grandes différences dans leur manière d'agir sur la machine.

Pour que quelque force naturelle continue son action sur le point d'impulsion d'une machine, elle doit mettre en mouvement simultanément, une quantité de matière externe, ou hors de la machine dans laquelle réside cette puissance; et il faut la faire suivre le point d'impulsion dans son mouvement, et non-seulement le suivre, mais continuer à le faire avancer : or, cette matière mise ainsi continuellement en mouvement, sera appliquée successivement à des points de la machine, lesquels deviennent à leur tour des points d'impulsion. Ce cas a lieu au moyen d'un poids, par l'effet d'un ressort, par l'action des animaux, par l'impulsion du vent, par l'effort d'un cours d'eau, de la vapeur ou de plusieurs autres forces motrices. Donc une partie de la puissance naturelle doit être employée à produire ce mouvement externe. Quelquefois cette partie est une portion très-considérable de la puissance naturelle : quelquefois c'en est la totalité, comme l'effet d'un poids attaché à l'extrémité d'un levier.

Il y a aussi une distinction importante à faire dans la manière dont ce mouvement externe se trouve maintenu. Lorsqu'on em-

ploie un poids comme puissance motrice, la pression agissante paraît résider dans la matière elle-même, et tout ce qu'il y a de nécessaire pour maintenir cette pression, est de continuer la combinaison de ce poids avec la machine. Dans l'action des animaux, il se trouve quelques différences. Un homme qui pousse contre le levier d'un cabestan, doit nécessairement marcher aussi vite que le levier se meut à l'entour de son centre de mouvement; en marchant, il épuise ses forces musculaires; mais ce n'est pas tout, il faut qu'il presse le levier du cabestan en avant, avec autant de force qu'il en possède au-delà de ce qu'il a épuisé en marchant. La proportion de ces deux dépenses peut-être très-différente selon les diverses circonstances, et dépend beaucoup du talent et des connaissances de l'ingénieur, pour disposer ses machines, de manière à ce que la première dépense soit la moindre possible.

Il faut faire attention à la nature de la résistance d'une machine par le travail qu'elle est destinée à exécuter : quelquefois le travail oppose, non pas une simple résistance, mais plutôt une véritable réaction, laquelle, si elle était appliquée seule à la machine, la ferait mouvoir en sens inverse. Cette réaction a toujours lieu lorsqu'on lève un corps pesant, ou lorsqu'on tend un ressort, et dans quelqu'autre cas : très-souvent cependant il n'y a pas de réaction, comme dans un moulin à farine, une scierie, une usine à forer, etc. Quoique de telles machines, à l'état de repos, n'éprouvent aucune pression dans la direction opposée à l'action du premier moteur, elles exigent, pour travailler, l'impulsion d'une puissance, d'une intensité quelconque et déterminée : c'est ainsi que, dans les moulins à scier, il faut imprimer une certaine force sur les dents de la scie, pour vaincre la cohésion des fibres du bois : force qui doit être déterminée par les proportions de la machine. Si on applique à ce point cette quantité précise de force,

et rien de plus, on obtiendra un effort sur les dents de la scie qui balancera la cohésion du bois, mais qui ne la vaincra pas. La machine restera en repos, et ne travaillera point ; mais, à présent, toute addition de force au point d'impulsion se fera sentir à l'instant aux dents de la scie ; la cohésion sera détruite, la machine marchera et fera son travail. Cette addition seule a donné le mouvement à la machine : le surplus a été employé pour balancer la cohérence de fibres ligneuses. Ainsi, lorsque la machine est en mouvement, faisant ses fonctions, nous devons la considérer comme animée par une force imprimée sur le point d'impulsion naturelle, et affectée par une autre force agissante au point de travail, laquelle dérive de la résistance de ce même travail.

L'action de la force motrice est transférée en général au point de travail à travers des parties de la machine, qui sont souvent inertes, matérielles et pesantes. Pour parler plus clairement, avant qu'on puisse exciter la force nécessaire au point de travail d'une machine, les diverses forces qui forment sa combinaison doivent être exercées dans les diverses parties du mécanisme ; et afin de faire suivre par le point de travail l'impression déjà faite, toutes les parties combinées de la machine doivent être mues en différentes directions et avec diverses vitesses. Il faut de la force pour changer la position de toute cette matière ; il faut du temps pour accomplir l'effet, et souvent on consume ici, et on épuise véritablement une grande partie de la force d'impulsion.

C'est ainsi qu'une grue, mise en mouvement par des hommes qui marchent dans une roue, n'acquiert de mouvement que très-lentement, parce qu'afin de donner assez d'espace pour l'action de la quantité d'hommes ou d'animaux qu'on veut employer, il faut une roue d'un grand diamètre, et qui contienne une grande

quantité de matières inertes. Cette matière est mise en mouvement par le poids des hommes; elle a une accélération lente, et lève nécessairement le fardeau en proportion de cette accélération. Lorsqu'il a atteint la hauteur requise, toute cette matière, actuellement en mouvement, doit être arrêtée; si on l'arrête soudainement avec une secousse, il en résulterait des inconvéniens, et on pourrait blesser les hommes; ainsi, il faut donc laisser reposer la machine graduellement; ainsi, il se consume du temps. La roue exige même, en général, un mouvement contraire pour descendre la corde à sa destination, etc.

Il est évident que, par cette perte de temps et de force, une pareille roue est le plus mauvais moteur qu'on puisse employer pour une grue ou toute autre machine où il faut souvent changer le mouvement.

Dans des machines où toutes les parties continuent, sans changement, à suivre la direction de leurs mouvemens, l'inertie d'une grande masse de matière n'est pas préjudiciable: elle contribue, au contraire, à régulariser le mouvement, malgré quelques petites irrégularités de force ou de résistance inévitables dans la partie intérieure du mécanisme; mais il en est autrement dans les machines à mouvement alternatif. L'artiste dont toutes les connaissances dérivent des traités ordinaires du mécanisme, ne se doutera jamais de pareilles imperfections, parce qu'elles ne se rencontrent point dans les considérations statiques des machines.

Enfin, une machine ne peut se mouvoir sans le frottement mutuel de toutes ses parties, dans le point de communication, tels que les dents dans les roues d'engrenage, les cammes pour élever des pilons, et les tourillons et axes des differentes parties en révolution, etc. Ainsi donc, une connaissance de la nature du frottement dans toutes ses variétés, est indispensablement nécessaire lorsqu'on veut se mêler de machines.

Parlons présentement des machines simples, et auparavant disons un mot du centre de gravité.

On donne le nom de centre de gravité à un certain point dans le corps, où il peut être de tout côté en équilibre, lorsqu'il repose dessus, ou qu'il y est suspendu.

On a coutume de concevoir toute la pesanteur d'un corps dans ce seul centre, sans qu'il y ait aucune pesanteur dans toutes les autres parties. Soit un cube dans lequel on conçoit les diagonales qui se couperont en un même point intérieur au milieu du cube; qu'on conçoive ensuite que la pesanteur de toutes les parties tombe sur ce point, le corps aura bien alors la même pesanteur qu'il avait auparavant, mais elle se placera toute dans ce point; de sorte que ce point étant soutenu ou suspendu à quelque chose, toute la pesanteur du corps sera aussi soutenue ou suspendue. Le centre de pesanteur tend par conséquent à tomber en bas en ligne perpendiculaire à l'horizon, de la même manière que toutes autres pesanteurs. Si l'on soutient ce point, ou si on l'appuie à quelque endroit de cette ligne perpendiculaire, on soutient alors tout le corps; mais, dès qu'on cesse d'appuyer ce point, le corps cesse aussi dès-lors d'être soutenu, et il faut nécessairement qu'il tombe, et qu'il s'affaisse d'autant plus que ce point tombe davantage en bas.

Soit le plan incliné AB (*pl. XXXIX*, *fig.* 15), situé sur l'horizon BC; qu'on mette sur ce plan le corps S, dont le centre de pesanteur soit S, d'où, en tirant la perpendiculaire SP, on trouvera qu'elle passe par le point P du corps où il touche le plan AB, ce qui soutient de cette manière le poids du corps S, de sorte qu'il ne peut tomber en se renversant, mais seulement glisser en bas le long du plan AB; supposons le globe R, dont le centre de pesanteur soit D, ce globe touche le plan AB au point E; mais la ligne perpendiculaire tirée de D sur l'horizon est DG, laquelle fait voir que le globe n'est pas appuyé sur cette ligne du

plan ; ainsi, le corps doit culbuter vers K, et tombera de cette manière en bas en se renversant ou en roulant sur le plan. Il en est de même à l'égard du corps T, dont le centre de pesanteur est O, duquel on tire la ligne perpendiculaire ON, qui n'est soutenue en aucun endroit par la surface ; en sorte que le corps devra aussi culbuter, et tomber par conséquent de L en B tout en roulant de la même manière que le globe, mais pourtant sans glisser comme le corps S.

Les mécaniciens comptent trois sortes de levier ; car l'appui C est quelquefois placé entre le poids D et la puissance P appliquée en B, comme dans la fig. 12, pl. XXXIX, et c'est ce qu'on nomme *levier de la première espèce ;* quelquefois le poids D est situé entre l'appui C, et la puissance P appliquée en B, c'est ce qu'on appelle *levier de la seconde espèce*, comme dans la fig. 13 ; et quelquefois enfin la puissance P est placée entre le poids D appliqué en A et l'appui C, comme dans la fig. 14 ; ce qui donne le *levier de la troisième espèce.*

La force du levier a pour fondement ce principe que l'espace ou l'arc décrit pour chaque point d'un levier, et par conséquent la vitesse de chaque point est comme la distance de ce point à l'appui ; d'où il suit que l'action d'une puissance et la résistance du poids augmentent à proportion de leur distance de l'appui. Ainsi (*fig.* 16), la vitesse du point B est à celle du point A quand le levier AB est mis en mouvement autour de l'appui D, comme l'arc B*b* est à l'arc A*a*, ou comme BD est à AD. Ainsi (*fig.* 18), l'effet produit par une puissance G appliquée en B est à celui que produirait la même puissance appliquée en A, comme l'arc B*b* est à l'arc *a*A, ou comme CB est à CA. Enfin (*fig.* 17), l'effet produit par une puissance O appliquée au point A d'un levier AB susceptible de tourner autour de l'appui D, doit être égal à celui

produit par une autre puissance G appliquée en V, dans le cas d'équilibre ; d'où il suit qu'on a la puissance O est à la puissance G, comme la distance DV est à celle AD, ce qu'on exprime en disant qu'alors les puissances sont réciproquement proportionnelles à leurs distances du point d'appui. D'où il suit qu'on peut diminuer la puissance G et conserver encore l'état d'équilibre, en éloignant du point d'appui D le point d'application de la puissance G, et en le plaçant en B de manière qu'on ait toujours égalité entre le produit de chaque puissance O et G, multipliée par la distance de son point d'application au point d'appui. Si le produit de la puissance appliquée en B par DB surpassait le produit de la puissance appliquée en A par AD, alors le levier AB prendrait un mouvement et deviendrait *ab* par exemple ; dans le mouvement la vitesse du point B serait à celle du point A comme l'arc B*b* est à l'arc A*a*, c'est-à-dire, comme BD est à AD.

Il suit encore de ce qui précède qu'une puissance pourra soutenir un poids, lorsque la distance de l'appui au point du levier où elle est appliquée, sera à la distance du même appui, au point où le poids est appliqué, comme le poids est à la puissance, et pour peu qu'on augmente cette puissance, on élèvera ce poids.

La puissance qui agit à l'aide d'un levier, est d'ordinaire la main de l'homme ; mais cette action, ou cette force peut être comparée avec un poids ; on peut par conséquent concevoir en la même place un poids qui agisse avec autant de force.

Qu'un homme, tirant fortement, du haut en bas et perpendiculairement à l'horizon, une corde qui passe par-dessus une poulie, emploie toutes ses forces à élever un poids de 100 livres, il arrivera certainement que le même homme tirant aussi fort un levier dans la même direction, fera la même chose que si un

poids de 100 livres était suspendu au levier en sa place : ainsi on peut concevoir ces 100 livres suspendues au levier, toutes les fois qu'on a les forces de cet homme qui tire la corde.

Si l'on fait bien attention aux forces que l'on peut mettre en œuvre par le moyen du levier, il sera aisé de voir de quelle manière on peut mouvoir, élever, soutenir, à l'aide de ces mêmes machines, toutes sortes de fardeaux.

Soit une pierre de 2,000 livres, que l'on soit obligé d'élever ; on nous donne pour cet effet un levier de 12 pieds de long, de la seconde espèce ; et l'homme qui doit mouvoir cette pierre, n'a qu'une force de 30 livres : on demande en quel endroit du levier on doit mettre la pierre, ou en quel endroit il faut la suspendre. CB ; (*fig.* 13, *pl. XXXIX*) est de 12 pieds de long, c'est-à-dire, de 144 pouces, ou de 1728 lignes; le poids D est de 2,000 livres, la puissance P est de 30 livres, on aura par conséquent D : P :: CB : CD, c'est-à-dire, 2,000 : 30 :: 1,728 : 25 $\frac{23}{25}$ lignes.

Si donc le poids D de 2,000 livres est suspendu au levier à la distance CD de 25 $\frac{23}{25}$ lignes, c'est-à-dire, 2 pouces 1 ligne $\frac{23}{25}$, la puissance P soutiendra ce poids, et sera avec lui en équilibre; mais en poussant un peu D proche de C, en sorte que CD soit 2 pouces, la force du mouvement de P sera plus grande que celle de D, et alors P élèvera le poids D.

Archimède disait : donnez-moi seulement un point fixe hors de la terre, et je l'enlèverai toute entière hors de sa place : car en supposant que D représente la terre, et P sa main, il aurait voulu mettre P à D, en plus grande raison que CD à CB. En effet, un pied cube de terre pèse 100 livres, ainsi la pesanteur de tout notre globe sera de 399, 784, 700, 118, 074, 464, 789, 750 livres. Supposons que la force d'Archimède soit de 200 livres, alors P sera à D, comme 1 à 199, 892, 350, 059, 037, 232, 399, 8 $\frac{3}{4}$: c'est pourquoi CD devrait être à CB, comme

1 à 199, 892, etc ; ainsi CB étant divisé en autant de parties que ce dernier nombre, et la terre étant suspendue sur la première division, Archimède l'aurait arrêtée en P ; mais comme la terre est placée un peu plus près de C, il aurait pu l'élever.

Si le levier AB (*fig.* 1) situé parallèlement à l'horizon sur deux appuis en A et B, a sur lui en quelque endroit du milieu, le poids D, l'action de l'appui B sera à celle de l'appui A, pour le soutenir, comme AD est à DB.

Il paraît par là que si deux hommes A et B (*fig.* 2) portent le poids D suspendu au levier AB, quelle que soit la portion portée par chacun d'eux, la portion que B porte est à celle que A porte, comme AD est à DB. Si AD est à DB comme 2 à 3, et que le poids P soit de 50 livres, B porte 20 livres, et A porte 30 livres. On peut par conséquent, dit Mussenbroek, attacher au levier AB un poids de telle manière, qu'un enfant et le fort Samson en porteraient chacun une partie, qui sera proportionnelle à leurs forces. Que Samson soit 100 fois plus fort que l'enfant : que AB soit divisé en 101 parties ; que A soit Samson, B l'enfant et D le poids ; que BD soit de 100 parties et AD d'une partie ; alors AD est à DB comme 1 est à 100, et par conséquent la force requise de B est à celle de A comme 1 est à 100; si donc le poids est suspendu au point D, chacun d'eux en portera une partie proportionnelle à sa force.

Si l'on attache divers poids, comme D, *f*, G (*fig.* 3), à divers points d'un levier, qui porte sur ses appuis A et B, on pourra savoir quelle doit être la charge de chacun de ses appuis, si l'on vient à trouver en quel endroit est situé le centre de pesanteur de ces trois poids; si donc ce centre est K, et qu'on en tire LK perpendiculairement sur l'horizon et qui tombe sur le levier, l'action de l'appui B devait être alors à celle de A, comme AL est à BL. Qu'on cherche premièrement le centre de la pesanteur

des deux poids D et f, en tirant de chaque centre de pesanteur la ligne droite Df et la divisant en e, en sorte que le poids f soit à D, comme De est à ef; maintenant e sera le centre de la pesanteur de ces deux poids, en sorte qu'il faut concevoir que ces deux poids sont suspendus à e. Qu'on tire donc une ligne droite eG jusqu'au centre de pesanteur dans le poids G, et qu'on divise cette ligne eG en K, en sorte que GK soit à Ke, comme le poids en e est à G. Si donc K est le centre de la pesanteur de tous les poids, qu'on fasse tomber perpendiculairement sur l'horizon la ligne KL, qui passe par le levier en L, et alors tous les poids agissent, comme reposant sur ce point L : de sorte que l'action de l'appui B, qui soutient les poids, doit être à celle de l'appui A, qui les soutient aussi, comme la longueur AL est à BL.

Soit le levier AC (*fig.* 9), situé obliquement sur l'horizon, dont l'extrémité C repose sur l'appui, tandis que l'autre extrémité A est soutenue par la puissance P, et que le poids D soit situé en quelque endroit du milieu : on demande quelle doit être la force de P à l'égard de la pesanteur de D pour pouvoir soutenir le poids D?

Il faut tirer du centre de mouvement C la ligne CB parallèle à l'horizon : ainsi la ligne de pesanteur sera éloignée du centre de mouvement de la distance de CB; mais la puissance P est éloignée de ce même centre de la distance CA, de sorte que P devra être au poids D, pour l'arrêter avec le levier, comme la longueur CB est à CA. Lorsque la puissance P aura élevé plus haut le levier CA, le poids D décrira l'arc DS; mais dès que le poids sera parvenu jusqu'à E, il agira dans la ligne EF, et sa distance de l'appui C sera seulement égale à CF; c'est pourquoi P pourra être plus petit pour faire équilibre, ou il devra moins agir, lorsque le levier sera élevé à cette hauteur : P devra aussi toujours agir d'autant moins que CA sera élevé plus haut; de sorte que le le-

vier passant par le point G, le poids D agira selon la ligne GH, comme en H, et aura une plus petite distance CH, tandis que P pourra être aussi plus petit.

Si l'on suppose trois leviers AO, CO, FO (*fig.* 4) joints ensemble en O, et que le poids soit sur O; après qu'on aura tiré AC, CF, AF, prolongez OF en G, CO en E et AO en B, la puissance F sera, à l'égard du poids O, comme GO est à GF, et la puissance A sera à O, comme BO est à BA, et la puissance C sera à O, comme EO est à EC.

Soit le levier ACB (*fig.* 5), qui soit tiré par les deux puissances R et P avec des directions obliques sur le levier, comme sont RA, BP, on pourra alors déterminer les forces de R et de P, après qu'on aura tiré du centre de mouvement C la perpendiculaire sur la ligne de direction, c'est-à-dire, CD, CE; car il faudra, pour faire équilibre, que P soit à R, comme la longueur CD est à CE. C'est ainsi qu'on peut déterminer toutes les actions obliques sur le levier.

Soit le levier AC (*fig.* 10), dont le centre de mouvement est C; que les deux puissances R et P soient attachées à l'autre extrémité A, et qu'elles tirent à elles l'une contre l'autre le levier avec des directions obliques RA, AP; on demande qu'elle doit être la force des puissances R et P pour rester en équilibre? Tirez CP et CR perpendiculaires sur la direction de ces puissances AP, AR, on aura P est à R, comme RC est à CP.

La poulie est une des cinq principales machines dont on traite dans la statique : elle consiste en une petite roue qui est creusée dans sa circonférence, et qui tourne autour d'un clou ou axe placé à son centre; on s'en sert pour élever des poids par le moyen d'une corde qu'on place et qu'on fait glisser dans la rainure de la circonférence.

L'axe sur lequel la poulie tourne se nomme boulon ou goujon, et la pièce fixe de bois ou de fer dans laquelle on le met, se nomme la chape.

La poulie est donc une sorte de roue DOFE (*fig.* 25, *pl. LV*) qui tourne autour de son essieu ; il passe autour de cette roue une corde PDOFEB, à laquelle on applique ordinairement la puissance qui agit ; on y attache aussi le poids qui doit être mu. Cette machine sert à changer les directions des puissances qui agissent, ou à augmenter leurs forces de mouvement, pour mouvoir ou lever toutes sortes de poids.

Dans une poulie, la résistance en A, le poids P et la puissance appliquée en H sont entre eux, dans le cas d'équilibre, comme la sous-tendante de l'arc embrassé par la corde et les rayons CD et CO. Si la poulie DO FE tourne seulement autour de son axe C, mais que du reste elle soit attachée dans son écharpe A au croc U ; et qu'autour de la roue tourne la corde PDOEB, à l'une des extrémités de laquelle soit suspendu le poids P, tandis que la puissance B qui donne le mouvement, agit à l'autre extrémité, B devra alors avoir la même force que P, afin que B soit en équilibre avec P. La même chose a lieu, quelle que soit la direction avec laquelle la puissance B puisse tirer, soit que cela se fasse suivant la direction GF, HO, ou suivant quelque autre direction ; on a toujours P égal à la force qui agit en G, et P égal à la force qui agit en H. On voit par-là que la même puissance B étant une fois en équilibre avec P, gardera toujours cet équilibre, quelle que soit la direction suivant laquelle elle puisse tirer. C'est en cela que consiste l'avantage d'une poulie fixe.

On peut regarder la poulie comme l'assemblage d'une infinité de leviers fixés autour du même point C, et dont les bras sont égaux ; et c'est cette égalité de bras qui fait que la puissance n'est jamais plus grande que le poids. Il est inutile d'avertir qu'il

faut faire abstraction du poids et des frottemens des cordes; car on conçoit aisément que moyennant ce poids et ce frottement, il faudra plus de cent livres d'effort pour élever un poids de cent livres.

Les cordes ont une certaine roideur plus ou moins grande, selon leur épaisseur, et cette roideur fait beaucoup de résistance. La corde doit se courber d'autant moins vite que la poulie est plus grande, ce qui est cause qu'il y a aussi moins de résistance; de sorte que les grandes poulies sont meilleures que les petites.

L'usage de la poulie est principalement de changer une direction verticale en horizontale, ou une direction qui devait être de bas en haut, en une direction de haut en bas, et réciproquement : c'est principalement par-là qu'elle est avantageuse. En effet, supposons que plusieurs hommes veuillent élever à une grande hauteur un poids considérable, par le moyen d'une corde, en la tirant de haut en bas : si la corde vient à se rompre, la tête des ouvriers qui se trouveront dessous, sera dans un très-grand danger; mais si, par le moyen de la poulie, la direction verticale de la corde est changée en horizontale, il n'y a plus rien à craindre de la rupture de la corde. La poulie est, dans ce cas, appelée poulie de renvoi, parce qu'elle sert à faire agir la puissance dans un sens différent de celui du poids.

Le changement de direction occasionné par la poulie, a encore cet avantage, que si une puissance a plus de force dans une direction que dans une autre, elle peut agir, par le moyen de la poulie, dans la direction favorable.

Par exemple, un cheval ne peut tirer verticalement, mais tire avec beaucoup de force dans le sens horizontal. Ainsi, en changeant la direction verticale en horizontale, on peut faire élever un poids à un cheval, par le moyen d'une poulie.

La plupart des poulies sont mal faites pour la commodité, car, pour qu'une poulie soit bonne, il faut que son essieu soit fixe dans la roue, et qu'elle tourne en même temps avec son essieu dans le trou de sa chape. De cette manière, elle tourne bien rondement, et sans être cahotée; et quoiqu'elle vienne à s'user, elle ne laisse pas de tourner toujours rondement. Mais lorsqu'on perce la roue, et qu'on fait tourner la poulie sur un goujon qui est tenu dans l'écharpe, il faut de nécessité qu'elle ait un peu de jeu, et il est alors impossible quelle puisse jamais tourner rondement, mais elle doit être cahotée; plus elle s'use, plus aussi le mouvement inégal et le cahot augmentent, et c'est pour cela que ces poulies ne valent rien.

La poulie est principalement utile, quand il y en a plusieurs réunies ensemble. Cette réunion forme ce que l'on appelle un moufle. L'avantage de cette machine est de tenir peu de place, de pouvoir se remuer aisément, et de faire élever un très-grand poids avec peu de force.

M. Fyoc, mathématicien, a inventé, il y a quelques années, une poulie mécanique, machine très-ingénieuse, dont je vais donner la description.

Le corps de la poulie mécanique, à proprement parler, est un cylindre du diamètre qu'on aurait donné au fond de la gorge, et de la même épaisseur que celle qu'elle aurait eue, si elle avait été exécutée comme à l'ordinaire. Ce cylindre est fixé sur un arbre qui porte les deux pivots; sur cet arbre, entre, de chaque côté, un petit plateau du diamètre nécessaire pour former, au-dessus du cylindre dont nous venons de parler, une gorge dont les rebords aient une hauteur suffisante pour bien contenir la corde qu'on y veut mettre. Ces deux plateaux sont bombés du côté opposé à la surface par laquelle ils s'appliquent au cylindre, et sont d'une épaisseur convenable; ils ont des entailles qui, partant

d'une certaine distance du centre, vont se rendre à la circonférence; enfin, ils sont garnis, à leur surface interne, de rugosités pour mieux saisir la corde; une espèce de fourche, attachée au haut de la chape, et mobile sur des pivots, est continuellement pressée par un ressort contre deux petits plateaux; de manière que chacune de ses dents ou extrémités s'engage dans les entailles des plateaux. Ceci bien entendu, on conçoit que, quand on tire la corde dans le sens ordinaire, la fourche ne fait aucun obstacle au mouvement de la poulie; mais qu'à l'instant où on la lâche, la fourche pressant, par l'effet du ressort, contre les plateaux qui sont bombés, et serrant, par ce moyen, la corde dans cette gorge artificielle, elle l'empêche de glisser, tandis que la poulie elle-même est arrêtée par les dents de la fourche, qui s'engagent dans les entailles de ces plateaux.

Il y a un levier qui sert, dans l'occasion, à soulever les ressorts, pour en empêcher l'action. L'invention de cette poulie a obtenu l'approbation de l'Académie des Sciences, et a déjà été employée d'une manière avantageuse dans les établissemens publics.

On appelle moufle l'assemblage de plusieurs poulies mobiles dans une même écharpe qui, dans les travaux, sert à élever de très-grands fardeaux avec peu de force.

On démontre en mécanique que la force qu'il faut pour mouvoir un corps pesant, est en raison inverse des espaces parcourus en même temps par le fardeau et la puissance. Ainsi, une puissance peut faire mouvoir un fardeau double, triple, quadruple, etc., en ne lui faisant parcourir que la moitié, le tiers ou le quart du chemin quelle fait; d'où il résulte que, pour mouvoir un fardeau double, triple, quadruple, etc., de l'effort de la puissance, il faut deux fois, trois fois, quatre fois plus de temps, c'est-à-dire, que l'on perd en temps ce que l'on gagne en force, indépendamment des frottemens occasionnés par les combinaisons, pour

produire de grands effets. Je vais citer, pour l'application de ces principes aux moufles, ce que dit M. Rondelet dans son Art de bâtir. On sait généralement que les poulies sont des corps cylindriques de peu d'épaisseur, en bois ou en métal, avec une cannelure autour pour tenir le cordage, et un axe de fer dans lequel elles sont enfilées pour tourner avec la corde qui enveloppe une partie de leur circonférence. Une poulie seule fixe ne peut pas diminuer l'effort du poids, par rapport à la puissance qui le fait mouvoir, parce qu'elle est obligée de parcourir un espace égal à celui que parcourt le poids; et même, comme il n'y a pas de machine sans frottement, on peut dire que, pour faire mouvoir un poids par le moyen d'une poulie fixe, il faut un peu plus de force que si on le tirait immédiatement. Mais, comme on ne peut pas toujours appliquer à un poids une puissance selon la direction qu'il doit suivre, les poulies sont nécessaires pour donner à la puissance la direction que l'on veut, et souvent opposée à celle du fardeau, comme dans les chèvres et les grues.

Lorsque les poulies, dont on se sert pour élever un fardeau, ne sont pas arrêtées à un point fixe, c'est-à-dire, lorsque les poulies attachées au fardeau suivent son mouvement, comme dans les *fig.* 1, 2, 3, 4 et 5, (*pl. XLIII*), la puissance étant obligée de parcourir un espace double de celui que parcourt le fardeau, son effort ne doit être qu'un peu plus de la moitié : ainsi, dans la figure 1, la force P appliquée au-dessus de la poulie A, sera un peu plus de la moitié du poids, l'autre moitié étant soutenue par le premier cordon arrêté en E; de même, la puissance Q appliquée au-dessus de la poulie B, n'agira qu'avec un peu plus de la moitié de la force P, l'autre moitié étant soutenue par le second cordon arrêté en F; par la même raison, la puissance R appliquée en dessus de la poulie C, n'agira qu'avec la moitié de l'effort de la puissance Q, l'autre moitié étant sou-

tenue par le troisième cordon arrêté en G. Quant à la poulie D, qui est fixe, la puissance S placée au-dessous, sera obligée d'agir avec un effort un peu plus grand que la puissance R, parce que le quatrième cordon H n'étant pas arrêté, la puissance S soutient seule l'effort entier de la puissance R. Cette combinaison de poulies est une des plus avantageuses pour la puissance ; mais elle a un inconvénient qui en rend l'usage impraticable : c'est que pour trois poulies mobiles, il faut que la poulie fixe D soit à une hauteur huit fois plus grande que celle à laquelle on veut élever le fardeau. Ainsi, pour élever un fardeau à 50 pieds de hauteur, il faudrait que la poulie D fût à plus de 400 pieds d'élévation ; le cordon GFRS devrait avoir plus de 800 pieds ; celui FQ et les deux autres chacun, 400 pieds : ce qui fait plus de 1,600 pieds de cordes.

Les moufles représentés de face et de profil par les figures 2 et 3, composés de deux chapes garnies chacune de trois poulies, sont ceux dont on fait plus d'usage. Si l'on fait abstraction du frottement des poulies autour de leur axe, on trouverait que, par leur moyen, on pourrait mouvoir un fardeau six fois plus considérable que la puissance, parce qu'elle parcourt un espace six fois plus grand que celui parcouru par le fardeau ; mais, pour produire cet effet, il faudrait, pour faire parcourir 50 pieds au fardeau, plus de 300 pieds de corde.

Mais si l'on veut avoir égard au frottement, on trouvera que la puissance, au lieu d'être $\frac{1}{6}$ du fardeau, doit être près de moitié. J'ai éprouvé que, pour élever un fardeau de 107 livres, avec des moufles composés de deux chapes de fer garnies chacune de trois poulies en cuivre, dont les diamètres étaient de 6 pouces, 4 pouces et 2 pouces, et ceux de leur axe, de 10 lignes $\frac{3}{4}$, 9 lignes $\frac{3}{4}$ et 8 lignes $\frac{1}{4}$, il fallait un poids de 50 livres ; ces moufles ayant six cordons, indépendamment de celui qui tire, l'effort de la puis-

sance aurait dû être $\frac{107}{6} = 17\,\frac{5}{6}$, au lieu de 50 ; en sorte que les frottemens ont été de $32\,\frac{1}{6}$.

On trouve, d'après les principes démontrés dans tous les traités de mécanique, que le frottement est au poids, comme le diamètre des axes est à celui des poulies : ainsi, pour la chape du haut des moufles dont il s'agit, on trouvera que la somme des diamètres des axes étant de 29 lignes $\frac{1}{4}$, et celles des diamètres des poulies de 144 lignes, le rapport sera, à très-peu de chose près, comme 1 est à 5, c'est-à-dire, que le frottement est $\frac{1}{5}$ du poids du fardeau. Pour la chape du bas, à laquelle est suspendu le fardeau, et qui se meut avec lui, le frottement n'est que moitié, c'est-à-dire, $\frac{1}{10}$, ce qui fait, pour le frottement des six poulies, $\frac{3}{10}$; le fardeau étant de 107 livres, ces $\frac{3}{10}$ donneront $32\,\frac{1}{10}$, c'est-à-dire, $\frac{1}{15}$ de livre de moins que l'expérience, ou un peu plus d'une once : ce qui prouve l'accord de la théorie avec l'expérience lorsque l'application est faite comme il convient.

Les moufles indiqués par la figure 4 et 5, qui sont triples des précédens, et composés de deux chapes garnies chacune de neuf poulies, ne sont pas, à beaucoup près, aussi avantageux qu'ils le paraissent, à cause du frottement. On trouvera qu'au moyen de ces moufles, une puissance pourrait élever un fardeau dix-huit fois plus grand que l'effort qu'elle fait en parcourant dix-huit fois plus de chemin; de sorte que pour élever un fardeau à 50 pieds, il faudrait 900 pieds de cordage : ce qui devient fort embarrassant. Si l'on veut avoir égard au frottement, il faut, comme pour l'exemple précédent, chercher le rapport de la somme des diamètres des axes et des poulies. Supposons les diamètres des grandes poulies de 9 pouces, et celui de leur axe de 10 lignes; le diamètre des poulies moyennes de 6 pouces, et celui de leur axe de 9 lignes ; le diamètre des petites de 3 pouces,

et celui de leur axe de 8 lignes, on aura pour les axes des grandes poulies de la chape du haut. . . . . . $10 \times 3 = 30$ lig.

La somme des axes de poulies moyennes sera . . . . $9 \times 3 = 27$

Celle des axes des petites poulies . . $8 \times 3 = 24$

En tout . . . . 81 lig.

Le diamètre des grandes poulies étant de 9 pouces, ou 108 lignes, leur somme sera . . . . . . $108 \times 3 = 324$ lig.

Celle des poulies moyennes de 6 pouces ou 72 lignes, donne . . . . $72 \times 3 = 216$

Celle des petites poulies de 3 pouces, ou 36 lignes . . . . $36 \times 3 = 108$

En tout . . . . 648 lig.

Ainsi le rapport sera $\frac{81}{648}$, qui se réduit à $\frac{1}{8}$, et indiquera leur frottement; celui des 9 poulies de la chape du bas étant de moitié, sera exprimé par $\frac{1}{16}$: ces deux rapports réunis donneront pour le frottement des 18 poulies, $\frac{3}{16}$ à quoi il faut encore ajouter $\frac{1}{18}$ pour l'effort de la puissance, indépendamment des frottemens, et on aura $\frac{70}{288}$, qui se réduit à $\frac{35}{144}$, c'est-à-dire, que, pour élever un fardeau de 1440 livres, il faudrait 350 livres de force, au lieu de 80 livres que donne sa combinaison : ce qui fait 270 livres pour les frottemens ; en sorte que la puissance, au lieu d'être le dix-huitième, serait près du quart. L'expérience donne encore les frottemens plus forts, surtout lorsqu'il n'y a qu'un seul cordon pour tirer : quand il y en a deux, il est un peu moindre, et ne diffère presque pas de ce que donne le calcul.

On appelle *treuil*, *tour* ou *vindas*, la machine dont on se sert communément pour tirer l'eau des puits, elle sert aussi à sortir les pierres des carrières (voyez *pl. LVI*, *fig.* 14). Il y en a cer-

tains où on adapte un tambour, dans lequel on fait marcher des hommes, qui, par leur pesanteur, font lever le fardeau qui est suspendu à l'essieu. Voici de quelle manière on pourra concevoir leurs forces de mouvement. Selon Mussembroeck, que AFB soit un tambour concave, de manière qu'on puisse faire marcher un homme dedans (c'est la même chose si l'on emploie, pour cet effet, des animaux), qui fasse effort pour s'avancer vers H, K, S, B, lorsqu'il sera arrivé en H, la ligne de pesanteur sera en HO, et il agira, par conséquent, comme s'il était suspendu au point O, dont la distance au centre du mouvement est CO; c'est pourquoi il faut que, pour faire équilibre avec P, les forces de mouvement de l'homme soient égales à celles du poids P; que l'on nomme la pesanteur de l'homme H, les forces de mouvement égales seront $H \times CO = P \times DC$; ceci étant mis en proportion, on aura H : à P :: DC : CO. Si l'homme s'avance d'avantage jusqu'en K, il agira, par sa pesanteur, dans la direction de la pesanteur KE, et de cette manière, il sera suspendu comme au point E, étant plus éloigné qu'auparavant du centre de mouvement C; c'est pourquoi il pourra alors, par sa pesanteur, lever un plus grand poids P. S'il avance encore davantage jusqu'en S, il agira dans la direction de la pesanteur QS, et il sera, pour cette raison, comme suspendu au point Q, qui est encore plus éloigné de C, c'est pourquoi il pourra, par sa pesanteur, lever un fardeau encore plus pesant P qu'auparavant. S'il peut maintenant s'avancer davantage comme jusqu'en B, il se trouvera à la distance la plus éloignée de C où il puisse parvenir, et il lèvera alors le fardeau le plus pesant qu'il lui est possible de lever.

On a en divers endroits des roues, sur lesquelles les hommes peuvent marcher en dehors. On fiche des anspects ou barres dans la roue, afin que les hommes puissent la tourner plus facilement. On fiche ces barres de deux manières : la première de

ces manières est qu'elles soient comme des rayons allongés de la roue. Lorsque les ouvriers agissent à l'aide de ces barres, c'est comme si la roue en était d'autant plus grande ; de sorte que son demi-diamètre est la distance au centre du mouvement, jusqu'à l'endroit sur lequel ils appliquent la main. Il se trouve en Hollande plusieurs grues qui sont faites de cette manière, mais on fiche aussi ces barres de travers dans la roue ; de sorte qu'elles sont posées perpendiculairement sur le plan de la roue , aussi près du bord extérieur qu'il est possible, afin que l'ouvrier tenant ferme une barre avec deux mains , puisse y être suspendu , et faire tourner ainsi la roue par la pesanteur de son corps. Souvent on se contente de ficher dans le cylindre des barres pour le tourner : la roue ne fait que ce que font les barres; mais on conçoit qu'il y en a une infinité dans une roue.

On se sert utilement de ces machines pour élever les vannes des écluses, lorsqu'elles ont à vaincre une grande résistance ; on peut même diminuer d'un quart la résistance qu'oppose la vanne par l'usage des poulies mouflées qu'on y adapterait.

Examinons l'effet du frottement sur le tour, soit le poids P et la force M (*fig.* 15, *pl. LVI*), appliqués respectivement au cylindre BCH et à la roue AS d'un tour dont l'essieu est au centre de BHC, on suppose que le poids et la puissance agissent dans un même plan. Soit M la force simplement requise pour faire équilibre au poids P, et q la petite force qu'il faut ajouter à M pour vaincre le frottement.

Soit le rayon de l'essieu.	a
Le rayon OB du cylindre.	b
Le rayon OA de la roue	c
Le rapport du frottement à la pression . . .	n
Le rayon du cercle où on mesure les sinus. .	1

Soit f le sinus de l'angle que fait la direction de la puissance M avec l'horizon ; on trouve

$q = \frac{an}{c} \sqrt{M^2 + P^2 + 2fMP}$ ou (en mettant pour M sa valeur $\frac{Pb}{c}$) $q = \frac{an\,P}{c^2} \sqrt{b^2 + c^2 + 2fbc}$

Faisons-en l'application à un exemple. $P = 900$ liv.; $a = 1$; $b = 10$; $c = 60$; $n = \frac{1}{7}$; l'angle de la direction de la puissance M avec l'horizon $= 45$ degrés, ou $f = \frac{1}{\sqrt{2}}$. On trouvera $q =$ 3 liv. 372 environ. Il faut donc ajouter à la puissance M environ 3 livres et $\frac{372}{1000}$ pour vaincre le frottement; ainsi, cette puissance qui, sans le frottement, n'aurait été que de 150 livres, sera de 152 liv. 372, en ayant égard au frottement.

Lorsque la direction de la puissance est verticale, on a $f = 1$, et l'équation se réduit à

$$q = \frac{an\,(P + M)}{c - an}, \text{ ou } q = \frac{an\,P\,(c + b)}{c\,(c - an)}$$

soit comme dans l'exemple précédent $P = 900$ liv.; $a = 1$; $b = 10$; $c = 60$; $n = \frac{1}{7}$. On trouvera $q = 3$ liv. 61 à peu près.

On employait autrefois dans certaines circonstances un certain instrument à corde sujet à beaucoup d'inconvéniens, et qui a été décrit par MM. Perrault et Varignon. (*fig*, 15, *pl. LVI*). DE est une corde bien tendue, qui fait un tour autour de l'axe BC, de sorte que quand on tourne l'axe suivant le rang qu'occupent ces lettres BHC, il faut que la roue s'élève en haut, et qu'elle tombe en bas demeurant appliquée à la corde BE lorsqu'on tourne l'axe suivant CHB. Il passe autour de l'axe BC une autre corde plus en dedans, CP, à laquelle est suspendu le poids P; il y a autour de l'axe une grande roue faite en manière de poulie ANS, autour de laquelle passe une corde, qui est tenue

et tirée par la puissance M; lorsqu'on met cette machine en mouvement, le centre de mouvement se trouve en B, où B touche la corde EBD, de sorte que les distances du poids P et de la puissance M, sont CB et AB : c'est pourquoi la force de M doit être à P comme CB est à BA. Le physicien Desaguliers a fait voir les incommodités de cette machine dans les transactions philosophiques; on ne s'en sert presque plus aujourd'hui.

Le cabestan est un cylindre vertical percé de plusieurs trous à son extrémité supérieure, pour y passer les barres ou leviers avec lesquels on le fait tourner à force de bras : il a un pivot à son extrémité inférieure. L'une et l'autre extrémité sont armées de frettes de fer : on se sert de cette machine sur terre pour attirer de grands fardeaux.

Le cabestan présente un grand inconvénient : quand la corde qui se roule dessus, et qui descend de sa grosseur à chaque tour, est parvenue tout-à-fait au bas du cylindre, alors le cabestan ne peut plus virer, et l'on est obligé de chaquer, c'est-à-dire, de prendre des bosses, de dériver le cabestan, de hausser les cordages, etc. : cette manœuvre fait perdre un temps considérable.

Le cabestan n'est donc, à proprement parler, qu'un levier ou un assemblage de leviers auxquels plusieurs puissances sont appliquées. Or, suivant les lois du levier, et abstraction faite du frottement, la puissance est au poids comme le rayon du cylindre est à la longueur du levier auquel la puissance est attachée, et le chemin de la puissance est à celui du poids comme le levier est au rayon du cylindre : moins il faut de force pour élever le poids, plus il faut faire de chemin ; il ne faut donc pas faire les leviers trop longs, afin que la puissance ne fasse pas trop de chemin ; ni trop courts, afin qu'elle ne soit pas obligée de faire trop d'efforts : car, dans l'un et l'autre cas, elle serait trop fatiguée.

Le cabestan peut s'appeler indifféremment treuil ou vindas, suivant les différentes applications qu'on en fait. Lorsque le tour ou rouleau sur lequel la corde s'enroule est posé de niveau, on l'appelle communément *treuil*, et l'on applique la puissance qui le fait mouvoir, ou aux bras ou aux chevilles de la roue; mais lorsque le tour est posé d'aplomb, suivant l'expression des ouvriers, ou bien perpendiculairement à l'horizon, on appelle la machine *vindas* ou *cabestan*.

Le treuil avec sa roue s'applique plus particulièrement aux grues avec lesquelles on élève les grosses pièces dans les édifices, et dont le câble est arrêté en quelque endroit du tour dans lequel il s'enroule.

Je donne le dessin d'un nouveau cabestan, qui ne diffère des cabestans ordinaires que par l'effet de quelques roulettes, pour faciliter le déroulement du câble (*planche V, figure* 6.)

1° Le cabestan doit être fixé par les moyens connus d'une manière immobile.

2° Les deux brins du câble doivent être enroulés sur la partie échancrée du cabestan dans le même sens, de manière qu'après deux ou trois tours, ces deux brins viennent se réunir sur la roulette qui se trouve fixée au côté gauche du cylindre, comme on le voit sur le plan visuel.

Au moyen des deux roulettes mobiles fixées dans l'intérieur de la pièce de bois à l'arrière du cabestan, les deux brins du câble conservent leur parallélisme, et se développent sur le cylindre chacun de leur côté, et toujours à la même place.

Le cabestan, dont je donne le dessin, ne tire les masses que d'une manière horizontale; mais, pour lui faire enlever des fardeaux verticalement, c'est-à-dire, de bas en haut, il ne faudrait que changer l'appareil établi à l'arrière du cabestan, et lui

donner une direction horizontale, au lieu de la verticale qu'il a dans le modèle.

Explication de la figure 6, planche V.

A. Roulette mobile sur un axe, servant à réunir les deux brins du câble ou tourne-vis.

B. Cylindre échancré dans la moyenne partie : les deux extrémités CC de l'échancrure forment un plan incliné d'environ quarante-cinq dégrés sur l'axe du cylindre.

D. Deux roulettes mobiles, qui servent à tenir constamment l'écart des deux brins du câble pour conserver leur parallélisme jusqu'au cylindre, et faciliter le déroulement.

E. Jambe de force qui soutient la pièce F, et qui doit être à rainure pour le libre passage du câble.

Il y a des chaînes de fer rond, d'un pouce de gros, qu'on attache au sommet d'une file de bornes espacées également : on peut les établir le long des quais ; elles peuvent même quelquefois servir de parapet à un pont.

Je parlerai d'une chaîne propre à remplacer une corde de grue ou de cabestan, qui s'enroulera beaucoup plus facilement autour du treuil, et lèvera, sans se fatiguer, les plus grands poids : cet avantage est inappréciable dans plusieurs machines, surtout dans les pompes à feu et dans les machines hydrauliques, où l'humidité roidit et détruit bientôt les meilleures cordes.

La forme des mailles se conçoit aisément par la seule inspection de la *figure 7, planche V*, où l'on voit la manière de les construire.

Il y a un grand défaut dans la confection de toutes les chaînes ; il provient du grand nombre de soudures qu'on est obligé de pratiquer pour former les mailles ; d'ailleurs, les chaînes sont faites en général avec du fer de fonderie, de la qualité duquel

on n'est pas toujours sûr, ce qui entraîne des accidens funestes par la rupture des mailles, surtout lorsqu'on les emploie dans les travaux des mines.

La société d'encouragement de Londres a donné, il y a quelques années, une récompense à M. Hancock, pour la nouvelle chaîne dont je parle, et qui était débarrassée de ces inconvéniens.

La forme de ses mailles permet de ployer la chaîne en tout sens, et sa manière de préparer le fer, détruit l'inquiétude qu'on peut avoir sur sa solidité. A cet effet, il faut passer à la filière et à froid le fer destiné à la confection de ces mailles : la tension considérable qu'éprouve le métal fait que la moindre paille se découvre, et le plus léger défaut fait rompre le fil, ou plutôt la tringle.

L'épaisseur de trois huitièmes de pouce suffit pour en fabriquer une chaîne propre à enlever les plus grands fardeaux.

La bonté et la solidité des chaînes ont été constatées d'une manière authentique. M. Hancock en a fabriqué de toutes dimensions. Une chaîne de deux cent treize pieds, dont la tringle avait à peine trois huitièmes de pouce, mesure anglaise, ne pesait que deux cent seize livres, ou environ une livre par pied, et elle levait des poids de deux milliers avec aisance.

On appelle aussi chaîne, l'assemblage de plusieurs bouts de fil de fer d'environ un pied de long, liés les uns aux autres par des anneaux de cuivre, dont on forme une mesure de plusieurs toises ou mètres, pour servir dans la levée des cartes, à toutes les opérations de géométrie pratique. Une chaîne de cette espèce a été construite en acier, par les ordres du major-général Roi, et exécutée par M. Ramsden, l'un des plus habiles artistes d'Angleterre.

Cette chaîne est construite sur les principes de celle d'une montre : chaque chaînon est composé de trois principales parties ; savoir : une longue bande, deux petites, ayant moitié de l'épaisseur de la première, avec des trous circulaires près des extrémités de chacune, et des chevilles d'acier fondu de la grosseur du diamètre des trous, pour servir à réunir et attacher les chaînons entr'eux. La surface intérieure des trous des petites plaques est rendue âpre et raboteuse avec la lime, tellement que lorsqu'elles embrassent les extrémités des deux grandes bandes consécutives, les chevilles passées dans ces trous y sont parfaitement serrées, et comme unies aux petites plaques, tandis que les extrémités embrassées des longues bandes, tournent librement autour de la cheville dans le milieu de sa longueur.

A chaque dixième chaînon, l'articulation qu'on vient de décrire est polie à angle droit avec les articulations précédentes, c'est-à-dire que les petites plaques y sont posées horizontalement, les clous qui les traversent étant verticaux. Ces articulations dont l'objet principal était de rendre la chaîne propre à être réduite dans un petit espace, en se repliant sur elle-même à chaque sixième chaînon, ont aussi servi à adapter sur la surface horizontale qu'elles présentaient, de petites pièces circulaires en cuivre, sur lesquelles on a gravé les chiffres 1, 2, 3, etc. jusqu'à 9, marquant les parties décimales de la longueur totale : ainsi, l'articulation du milieu qui séparait le 50ᵉ chaînon du 51ᵉ, portait le chiffre 5.

Cette chaîne a cent pieds de longueur, y compris les deux mains ou anneaux extrêmes de cuivre ; à l'extrémité de chaque main, il y avait des trous demi-circulaires, de même diamètre que les fiches ou petits piquets d'acier qu'on devait planter successivement dans le terrain, pour servir à compter le nombre des chaînes, lorsqu'on mesurerait à la manière ordinaire. L'usage de cette chaîne fit bientôt connaître combien sa construction

était parfaite. Elle pèse environ 18 livres; et quand elle est pliée, elle se renferme aisément dans une boîte de 14 pouces de long, 8 pouces de large, et autant de hauteur.

On entend par *plan incliné* un plan qui fait un angle aigu avec un plan horizontal. La théorie du mouvement des corps sur des plans inclinés est un des points principaux de la mécanique.

Supposons qu'il y ait sur le plan incliné AC (*fig.* 26, *pl. LV*) un corps pesant K qui soit retenu par la puissance P, dont la direction est KP parallèle à AC, la puissance P devra être alors à la pesanteur du corps, comme la hauteur BC du plan incliné est à la longueur CA du même plan.

Que le corps K soit une boule ou un cylindre, il ne restera pas en repos avant que la ligne PK passe par le centre de pesanteur K, car ce centre représente tout le corps, lequel est arrêté par la puissance P; que l'on tire de ce centre K la ligne droite KD, où la boule touche la surface AC, et qu'on tire ensuite de K la ligne dans laquelle la pesanteur agit, c'est-à-dire, K*e*G, perpendiculairement sur l'horizon : comme la boule venant à se mouvoir, ou en montant, ou en descendant, tournerait sur le point D, ce point sera le centre du mouvement, duquel il faut tirer la ligne perpendiculaire D*e* sur la ligne de pesanteur K*ef*G; il s'en formera donc un levier KD*e* de la première sorte, dont les bras seront KD, D*e*, et l'appui D; or, parce que la surface CA est une tangente de la boule, et qu'on a tiré KD du centre, KD sera alors posé perpendiculairement sur AC et sur KP, parce qu'ils sont tous deux parallèles : comme la pesanteur de K, qui est conçue en *e*, agit perpendiculairement sur D*e*, la puissance P qui est appliquée au bras KD du levier, sera à la pesanteur de K, qui est suspendu au bras D*e*, comme D*e* est à DK; mais les triangles DK*e* et CBA sont semblables, de sorte que, D*e* : DK :: BC : CA. C'est pourquoi P : K :: CB : CA,

c'est-à-dire, comme la hauteur du plan incliné est à la longueur de ce même plan.

Si la puissance O tire le poids K avec une direction parallèle à la base BA, O devra être à K, pour l'arrêter, comme CB, qui est la hauteur du plan incliné, est à BA, qui est la longueur de sa base. Cela résulte de ce qui vient d'être expliqué et de la similitude des triangles KID et CBA.

On voit clairement que si la puissance P tire avec diverses directions de P vers O et de plus en plus du côté d'en-bas, elle agit continuellement comme à un plus petit levier, au lieu que cependant le poids K ne cesse d'agir au même levier D *e*.

Plus le levier auquel la puissance P est appliquée, devient petit, plus la puissance doit être grande pour soutenir P; de sorte que la puissance P doit être plus petite, lorsque la traction PK est parallèle à la surface CA.

Car, si la puissance P en changeant sa direction précédente, se rend vers Q et tire dans la direction QK *q* R, il faut tirer de D sur cette direction la perpendiculaire D*q*, et le levier sera *q*D *e*, de sorte que la puissance Q doit être alors à K comme *e* D est à D *q*; mais D *q* est plus petite que DK, puisque le côté DK du triangle rectangle DK *q* est opposé à l'angle droit : pour cette raison, la puissance placée en Q, qui tire à un plus petit levier, que celle qui est placée en P, devra être plus grande que celle qui se trouve située en P. Si la puissance qui tire parvient jusqu'à S, en sorte que GK *e* S soit une même ligne, S devra soutenir toute la pesanteur du corps K : car S agit au même point *e* du levier D *e*, que le poids K, et il faut par conséquent que S soit aussi grand que K, ou qu'il agisse avec la même force que K. Il suit donc de là que plus la hauteur BC du plan incliné est petite, plus la puissance P peut être petite, pour soutenir le poids K. Si par conséquent B avait une hauteur infiniment pe-

tite, la puissance P devrait être aussi infiniment petite, pour arrêter le poids K dans la direction PK.

En général la puissance doit être au poids qu'elle doit soutenir sur un plan incliné, comme le sinus de l'angle que forme le plan incliné avec l'horizon, est au cosinus de l'angle qui est formé par la puissance qui tire et par le plan incliné.

D'où il suit : 1° qu'un corps ne pesant sur le plan incliné qu'avec sa pesanteur respective ou relative, le poids appliqué dans une direction verticale, le retiendra ou le soutiendra, pourvu que ce poids soit à celui du corps qu'on veut retenir comme la hauteur du plan BC est à sa longueur AC ;

2° Si l'on prend pour sinus total la longueur du plan CA, BC sera le sinus de l'angle d'inclinaison CAB ; c'est pourquoi la pesanteur absolue du corps est à sa pesanteur respective, suivant le plan incliné, comme le sinus total est au sinus de l'angle d'inclinaison ;

3° Les pesanteurs respectives du même corps sur différens plans inclinés, sont l'une à l'autre comme les sinus des angles d'inclinaison ;

4° Plus l'angle d'inclinaison est grand, plus aussi est grande la pesanteur respective ;

5° Ainsi, dans un plan vertical où l'angle d'inclinaison est le plus grand, puisqu'il est formé par une perpendiculaire, la pesanteur respective est égale à la pesanteur absolue ; et dans un plan horizontal, où il n'y a aucune inclinaison, la pesanteur respective s'anéantit absolument.

Pour trouver le sinus de l'angle d'inclinaison que doit avoir un plan, afin qu'une puissance donnée y puisse soutenir un poids donné, dites : le poids donné est à la puissance donnée comme le sinus total est au sinus de l'angle d'inclinaison du plan : ainsi, supposant qu'un poids de mille doive être soutenu par une puis-

sance de cinquante, on trouvera que l'angle d'inclinaison doit être de 2° 52′.

Au reste, nous supposons dans toute cette théorie que la puissance tire parallèlement à AC, c'est-à-dire, à la longueur du plan; et c'est la manière la plus avantageuse dont elle puisse être appliquée : mais si elle tire dans toute autre direction, il ne sera pas fort difficile de déterminer le rapport de la puissance au poids. Pour cela on mènera par le point de concours de la direction de la verticale du poids et de la direction de la puissance, une perpendiculaire au plan AC; or, pour qu'il y ait équilibre, il faut, 1° que cette perpendiculaire tombe sur la base du corps et non au-delà ou en-deçа, car autrement le corps glisserait; 2° qu'elle soit la direction de la force résultante de l'action du poids et de celle de la puissance; car il faut que la force résultante de ces deux actions soit détruite par la résistance du plan, et elle ne peut être détruite, à moins qu'elle ne soit perpendiculaire au plan; on fera donc un parallélogramme, dont la diagonale soit cette perpendiculaire, et dont les côtés seront pris sur les directions de la puissance et du poids, et le rapport des côtés de ce parallélogramme sera celui de la puissance et du poids.

Si un poids descend selon la direction verticale en élevant un autre poids dans une direction parallèle au plan incliné, la hauteur de l'élévation du dernier poids sera à celle de descente du premier, comme le sinus de l'angle d'inclinaison est au sinus total. D'où il suit encore que les puissances sont égales, lorsqu'elles élèvent des poids à des hauteurs qui sont réciproquement proportionnelles à ces poids.

On voit aussi la raison pourquoi il est beaucoup plus difficile de tirer un chariot chargé sur un plan incliné que sur un plan horizontal, parce qu'on a à vaincre une partie du poids qui est,

à la pesanteur totale, dans le rapport de la hauteur du plan à sa longueur. Cette vérité peut servir aux Ingénieurs, à établir, dans leurs devis, des règles certaines pour fixer le prix des transports des terres ou des pierres à des longueurs et hauteurs déterminées. Par exemple, si, à des distances égales et sur un plan incliné de 25 degrés, on donne pour prix de transport par toise cube 12 francs, que doit-on donner pour la conduire, même longueur supposée, sur un plan incliné de 6 degrés?

Si un corps X (*fig.* 32, *pl. LV bis*) repose contre un plan incliné AC et un plan vertical AX, la pression contre le plan AX fait, par rapport au plan AC, l'office d'une puissance qui retiendrait le corps sur ce plan, en agissant parallèlement à sa base AB : donc on a la pression exercée contre le plan vertical AX, égale au produit du poids du corps X, par la hauteur BC du plan incliné, divisé par la base AB dudit plan incliné.

La vis est une des cinq puissances mécaniques dont on se sert principalement pour élever ou presser.

On donne particulièrement ce nom à un cordon ou arète entortillée du haut en bas autour d'un cylindre, de manière qu'il y a partout une distance égale entre chaque pas de la vis; on lui donne le nom de *vis extérieure;* mais si la cannelure est creusée de la même manière, en rond, dans une concavité, on l'appelle alors *matrice* ou *écrou* : ce cordon a une base plate qui tient au cylindre; il finit en dehors en pointe, et est aussi quelquefois partout de la même épaisseur : on donne au premier le nom de *vis triangulaire*, et au dernier celui de *vis carrée.*

Le relief spiral, formé ainsi sur la surface du cylindre, s'appelle *filet de la vis.* La distance qu'il y a parallèlement à l'axe du cylindre, entre deux filets de vis consécutifs, se nomme *hauteur du pas de la vis*, ou simplement *pas de la vis.*

Pour se servir de cette machine, on doit avoir toujours deux vis qui tournent l'une dans l'autre; c'est-à-dire, que la vis extérieure tourne dans l'écrou ; et il faut alors que l'une des deux reste fixe, tandis que l'autre tourne autour d'elle; il n'importe pas que ce soit l'une ou l'autre qui soit fixe. L'écrou doit être creusé intérieurement d'une quantité égale et semblable au filet de la vis; en sorte que l'écrou peut être regardé comme le moule du filet de la vis.

On emploie la vis pour lever des corps pesans, pour en presser d'autres, et aussi pour les mettre en mouvement.

Les vis triangulaires sont ordinairement faites de bois; mais les carrées sont en métal : ces dernières sont plus fortes, moins sujettes au frottement; et comme elles s'engagent l'une dans l'autre plus aisément, elles s'usent moins, et par conséquent durent plus long-temps.

Si une puissance tourne une vis autour d'une autre, avec une direction parallèle à la base du cylindre, cette puissance devra être alors au poids qui est posé sur la vis, et qui doit être mu, comme la distance entre deux cannelures situées l'une près de l'autre, est à la circonférence du cercle de la base.

Les vis qui s'engrènent avec des roues dentées, s'appellent *vis sans fin*, parce que l'engrenage n'a pas de fin, et demeure toujours le même, tant que la machine tourne.

Dans cet espèce de vis, *le poids est à la puissance comme le produit du rayon de la roue, par la circonférence que décrit la manivelle, est au produit du rayon du cylindre, par la hauteur du pas de la vis.*

Le coin est un morceau de bois ou de fer, composé de deux surfaces inclinées l'une vers l'autre, dont on se sert pour fendre, couper, presser ou élever quelque chose.

On distingue deux sortes de coins, un simple et un double : le coin simple (*pl. XXIV, fig.* 5) est comme un triangle rectangle ADC, dont la base AD est appelée la longueur, DC est la hauteur ou le dos du coin.

Le coin double ACD (*fig.* 6) est fait de deux coins simples ACE, AED, qui sont joints par l'application de leurs longueurs l'une contre l'autre.

Les puissances que l'on emploie pour les coins, sont ou les pressions ou les percussions. Lorsqu'un charpentier veut percer du bois, il presse avec sa poitrine sur le coin; lorsque nous coupons quelque chose avec un couteau, nous ne faisons que presser; mais nous frappons aussi sur le coin avec un marteau.

Les corps que l'on sépare les uns des autres à l'aide du coin, sont aussi de différentes sortes; quelques-uns se fendent, et la fente s'avance devant le coin, comme cela arrive à l'égard des bois qui se fendent aisément; mais il s'en trouve d'autres dont la fente ne s'étend pas au-delà de l'endroit où le coin pénètre, comme cela se remarque lorsqu'on désunit du liége, du bois humide ou quelque métal, à l'aide du coin.

Lorsqu'un corps ne se fend pas en avant, mais qu'il ne fait que se désunir par le moyen du coin, la pression qui agit sur le dos du coin, doit être à la résistance des parties qui se désunissent, comme la hauteur du coin est à sa longueur, c'est-à-dire, comme DC est à DA (*fig.* 5).

La cohésion des parties produit leur résistance contre le tranchant du coin. Cette cohésion est la même que si les parties étaient pressées l'une contre l'autre par un poids; car les parties d'un corps qui se sont jointes, peuvent tenir l'une à l'autre aussi fortement que si, étant séparées, elles étaient pressées par un poids quelconque. Par conséquent, au lieu de se représenter la cohésion des parties, on peut les concevoir comme pressées par un

poids qui produise le même effet : de sorte que nous donnerons à la résistance le nom de poids. Concevons donc un mur A*d* (*fig.* 5) contre lequel le poids X s'appuie, mais qui s'élève de lui-même autant que le coin fait lever le poids; supposons que la puissance P qui presse sur le dos du coin DC, le fasse avancer de D vers A, jusqu'à ce que le tranchant A arrive en *b*, et que le dos DC parvienne en A*d*, le poids sera alors monté de A jusqu'en *d*; c'est pourquoi la vitesse de la puissance sera AD, et celle du poids DC. Maintenant, si leurs forces de mouvement sont égales, c'est-à-dire, si $P \times AD = X \times DC$, alors P sera à X comme DC est à AD.

Par conséquent, plus AD est long, la hauteur DC restant toujours la même; ou bien plus CD est petit, AD restant aussi le même, plus petite devra être la force de P pour lever le poids X. Il n'y aura aucune différence dans cette règle, que le coin soit simple ou double.

On comprend par-là quelle est la nature des couteaux, des clous, des vilebrequins, etc.; car ils ne sont tous que des coins qui pénètrent d'autant plus facilement dans les autres corps, qu'ils sont ou plus aigus ou plus pointus. Il nous reste à examiner la puissance qui est requise pour agir sur le dos du coin, lorsqu'on veut fendre une pièce de bois dont la fente s'étend en avant : cela demande plus d'attention.

Que l'on conçoive une pièce de bois déjà fendue en la manière de EFL (*fig.* 7), laquelle doive être encore fendue davantage à l'aide du coin ABC : lorsqu'on enfoncera le coin plus avant dans la fente EFL, les points E et L venant à s'affaisser plus profondément, diviseront encore davantage l'angle EFL de la fente. Supposons que le coin s'enfonce de la longueur de D*d*, et qu'il soit alors en *abc*, le point E se trouvera en *e*, et L en *l*: de sorte que la ligne de la fente EF aura décrit le triangle EF*e*, et la ligne LI le triangle LF*l*, lesquels triangles sont tous deux

égaux. Si donc on tire ef parallèle à EF, et Ff parallèle à Ee, on aura le parallélogramme $EeFf$ qui est égal aux deux triangles eFf et EFe pris ensemble : les mouvemens des deux lignes de la fente sont donc égaux au parallélogramme $EeFf$, c'est-à-dire, au mouvement de la ligne EF sur Ee. Par conséquent, la ligne Ee fait voir jusqu'à quel point les parties du bois sont séparées l'une de l'autre, c'est-à-dire, que Ee représente la résistance qui a été mise en mouvement contre le coin, que nous avons supposée auparavant être le poids X. Le coin est à présent descendu avec son tranchant C jusque en c. Si donc on tire la ligne Cg parallèle à eE, elle sera aussi égale à Ee. Puisqu'il faut, pour faire équilibre, que les forces du mouvement du bois et de la puissance qui presse soient égales, il faut aussi que $P \times Cc = X \times Cg$; je nomme X la résistance du bois, comme j'ai fait ci-dessus. De sorte que, après avoir posé cela en proportion, X sera à P :: Cc est à Cg, c'est-à-dire, la résistance du bois sera à la puissance qui le fend, comme Cc est à Cg. Pour déterminer encore ces proportions d'une autre manière, il est bon de faire attention que le point E a décrit l'arc d'un cercle, dont le centre est F, et le demi-diamètre EF. Si Ee est un petit arc qui ne diffère pas d'une ligne droite, Ee sera posé perpendiculairement sur EF; il en est de même à l'égard de Cg, parce qu'il est parallèle à Ee. Qu'on mène par le tranchant du coin la ligne cCD jusque sur le dos AB, et qu'on tire de D la ligne DH, perpendiculaire sur EF ou parallèle à Cg; le triangle DHC sera alors semblable au triangle Cgc; de sorte que $cC : Cg :: DC : DH$; mais X est à P :: $Cc : Cg :: DC : DH$; c'est-à-dire, la résistance du bois sera à la puissance qui le fend, comme la hauteur du coin est à une ligne tirée du milieu du dos perpendiculairement sur la fente, mais posée sur le côté du coin.

La roue est une des principales puissances employées dans les mécaniques; elle est simple ou dentée.

La roue simple est celle dont la circonférence est uniforme, et qui n'est point combinée avec d'autres roues; telles sont les roues des voitures. Elles ont un mouvement double; l'un progressif, l'autre circulaire; la ligne tracée par le mouvement circulaire, est la courbe que les géomètres appellent *cycloïde*.

Dans les roues simples, la hauteur doit toujours être proportionnée à la hauteur de l'animal qui la fait mouvoir; la règle qu'il faut suivre, c'est que la charge et l'axe de la roue soient de même hauteur que la puissance; car si l'axe était plus haut que la puissance qui tire, une partie de la charge porterait sur elle; et si l'axe était plus bas, la puissance tirerait d'une manière désavantageuse, et aurait besoin d'être augmentée.

Les grandes roues sont d'un usage infiniment meilleur que les petites; j'entends par grandes roues celles dont le diamètre a 5 ou 6 pieds, parce que dans cette grandeur elles ont l'avantage d'avoir leur centre à peu près à la hauteur d'un trait de cheval; ce qui met, dit M. l'abbé Nollet, son effort dans une direction perpendiculaire au rayon qui pose verticalement sur le terrain, c'est-à-dire, dans la direction la plus favorable.

Outre qu'il est certain que les fortes roues s'engagent moins que les petites dans les fortes inégalités de chemin, nous allons examiner, avec Mussembroeck, quelles sont les roues avec lesquelles un chariot peut être tiré plus commodément, lorsqu'il est porté sur des roues hautes ou basses, et qu'il doit être tiré par un chemin raboteux. Ces connaissances sont relatives aux travaux, et peuvent servir beaucoup dans l'exécution, pour faciliter les transports.

La ligne HH (*pl. LVI, fig.* 10) représente le chemin; BD l'inégalité du chemin par lequel les roues doivent être tirées,

KZXB est la grande roue, $LyOr$ la petite roue, qui heurtent l'une et l'autre contre DB. On conçoit que les cordes avec lesquelles elles sont tirées, passent par les essieux C et I, et dans une direction parallèle à l'horizon, comme CF, IG. Tout le poids qui se trouve sur le chariot presse les essieux, et est par conséquent en C ou en I, qui sont les centres de ces roues, agissant également dans la ligne de direction CA ou IK. Lorsque ces roues sont mises en mouvement, elles tournent sur le point B de la hauteur BD, qui est par conséquent le centre du mouvement. Qu'on tire des essieux C et I des lignes droites, jusque sur le centre du mouvement B, et on aura CB, IB, qui représentent deux leviers, auxquels les puissances tirantes F et G se trouvent attachées; mais parce que ces puissances agissent par des directions obliques sur les leviers, il faut tirer du point B des lignes perpendiculaires sur CF et IG, qui sont BE et BO : pour avoir la vraie distance des lignes de direction du centre du mouvement B, il faut aussi tirer de la même manière les lignes perpendiculaires sur CA et IK, qui sont BA et BS; on peut donc concevoir, que les poids reposant sur les essieux, sont sur les points A et S : on aura, de cette manière, deux leviers, ABE pour la grande roue, et SBO pour la petite roue; de sorte que la charge est suspendue aux extrémités A et S, et que les puissances tirantes se trouvent en O et en E; c'est pourquoi la puissance sera à A, comme AB est à BE; et la puissance G au poids S, comme SB est à BO. Mais BE est égal à CA qui est le sinus de l'angle CBA; BE le sinus de l'angle BCA de même que BO est égal à IS, et celui-ci est le sinus de l'angle IBS, et BS le sinus de l'angle BIS : maintenant, parce que l'angle aigu CBA est plus grand que IBS, et que BCA est plus petit que BIS, le sinus de CA à AB aura une plus grande proportion que IS à SB. Si, par conséquent, les puissances F et O ont des

forces égales, la force du mouvement de F en CA aura une plus grande raison au poids en AB, que n'a G en IS au poids en SB ; par conséquent, la puissance F transportera plus aisément la grande roue au-delà de l'inégalité DB, que la puissance G ne transportera la petite roue.

Le poids de la roue qui est suspendue en A, sera toujours à la puissance tirante F, au-delà de l'inégalité DC, comme le sinus de l'angle qui est fait par une ligne tirée de l'essieu C jusqu'à l'inégalité B, et par une ligne parallèle à l'horizon, tirée du même point B, qui est BA, est au cosinus du meme angle, c'est-à-dire, comme AC est à AB.

La difficulté qu'a la roue pour se transporter au-delà des inégalités, augmente en plus grande proportion que n'est la hauteur des inégalités. En effet, ces hauteurs *pq*, BD sont comme les sinus verse K*r*, KS de l'angle d'inclinaison ; au lieu que la puissance est au poids comme le cosinus est au sinus de l'angle d'inclinaison, dont la proportion augmente plus vite que celle du sinus verse.

Il suit à présent de là que l'inégalité VT est aussi haute que le demi-diamètre de la roue KI. La puissance G, quelque grande qu'elle puisse être, ne pourra jamais tirer la roue dans la direction IG, puisque SB venant à augmenter, BO devient plus petit, et perd sur la fin toute sa grandeur ; mais la même puissance F, qui tire la grande roue XZ, pourra encore la transporter au-delà de VT, puisqu'elle doit seulement être à l'égard du poids comme V*m* est à V*n*.

Les puissances G et F doivent d'abord employer leur plus grande force lorsqu'elles commencent à lever les roues ; mais aussitôt que la puissance G a un peu levé la roue *y*L*r*, c'est alors que diminue la longueur du levier BS, auquel le poids est suspendu, et BO, auquel la puissance tire, devient plus grand. Puisque BS devient

continuellement plus petit, et qu'il s'anéantit même sur la fin, il paraît clairement que la puissance G, tirant continuellement, élève plus facilement le fardeau de la roue.

Il y a encore d'autres raisons pour lesquelles une grande roue est tirée beaucoup plus facilement qu'une petite, parce que le frottement sur l'essieu d'une grande roue est à celui d'une petite roue, comme le diamètre de la petite roue est à celui de la grande roue.

La petite roue, comme je l'ai déjà dit, s'enfonce plus profondément dans les inégalités du chemin que la grande roue.

Lorsque la terre est humide, il faut que le deux roues qui sont également chargées, fassent aussi sortir de l'ornière la même quantité de terre; mais il faut pour cela que la petite roue s'enfonce dans la terre plus profondément que la grande roue, et elle doit être, par conséquent, soulevée plus haut que la grande roue.

Comme le frottement des roues sur leurs essieux est fort grand, et comme on ne peut tirer, pour cette raison, un chariot pesamment chargé qu'avec beaucoup de peine, on a pensé si on ne pourrait pas inventer une machine qui fût faite de telle manière, qu'il n'y eût presque point de frottement. C'est ce qu'on a trouvé en posant à terre, dans un endroit uni, deux rouleaux, et en mettant sur ces rouleaux ou des planches ou le fardeau même, lorsqu'il a une surface unie; car ce fardeau étant poussé, il fait bien rouler les rouleaux. C'est de cette manière qu'un cheval peut tirer une pesante caisse de 80,000 livres; au lieu qu'un cheval ne pourrait tirer autrement, qu'avec beaucoup de peine, un chariot chargé de 2000 livres.

Il y a de ces rouleaux qu'on nomme *sans fin* ou *tours terriers*, parce qu'on les fait tourner par le moyen de leviers; ils sont assemblés sous un poulin avec des entre-toises ou des moises.

On s'en sert très-utilement pour conduire de grands fardeaux, et pour amener de grosses pierres d'un lieu à un autre.

Les roues dentelées sont celles dont les circonférences ou les essieux sont partagés en dents, afin qu'ils puissent agir les uns sur les autres, et se combiner. Ce sont des leviers du premier genre multipliés, et qui agissent les uns par les autres.

La force de la roue dentelée dépend du même principe que celle de la roue simple.

La théorie des roues dentelées peut être renfermée dans la règle suivante. La raison de la puissance au poids, pour qu'il y ait équilibre, doit être composée de la raison du diamètre du pignon de la dernière roue au diamètre de la première roue, et de la raison du nombre des révolutions de la dernière roue, au nombre des révolutions de la première, faites dans le même temps (*Voyez fig.* 11, *pl. LV bis*).

Les roues dentelées, avec leurs pignons ou lanternes, ne diffèrent pas beaucoup du vindas, et doivent être, pour cette raison, considérées de la même manière. On verra sans peine comment la puissance qui agit doit être à l'égard du poids; par exemple : que RCA soit un essieu autour duquel on entortille la corde AP (*fig.* 11), à laquelle est attaché le poids P de 30 livres; que DBG soit une roue dentelée, posée autour de l'essieu précédent; que le demi-diamètre GB de cette roue soit six fois plus grand que le demi-diamètre de l'essieu CA; pour cette raison, un poids de 5 livres, suspendu à la dent B, sera en équilibre avec P, qui est de 30 livres; soit le pignon E, dont les dents reçoivent celles de la roue DBG, alors les dents du pignon E seront pressées par le poids P, avec une force de 5 livres; car cette force agit de cette manière sur la dent B. Supposons maintenant que le demi-diamètre de ce pignon E soit EB, qui est une cinquième partie du diamètre EM de l'autre roue, avec ses barres : il y aura donc

alors une puissance en M, laquelle, ayant la force d'une livre, arrêtera le poids de cinq livres en B, et retiendra aussi, de cette manière, le poids P de 10 livres, qui est suspendu à l'essieu CA.

C'est ainsi qu'on doit concevoir les crics, et plusieurs autres machines semblables à des roues dentelées.

On sait que les dents sont des petites parties saillantes, placées à la circonférence d'une roue, et par lesquelles elle agit sur les ailes de son pignon pour le faire tourner.

La figure des dents de roue est une chose essentielle, et à laquelle on doit faire beaucoup d'attention dans l'exécution des machines.

De toutes les figures qu'on peut donner aux dents des roues, celle qui tend à les faire marcher avec une force et une vitesse uniformes, et à rendre égaux les efforts que les pièces font toujours les unes sur les autres, doit être regardée comme la meilleure. Cette égalité de force est nécessaire pour faire mouvoir uniformément et avec la moindre puissance motrice possibe.

Une machine qui ne se meut pas toujours uniformément, ou dont les pièces agissent les unes sur les autres avec des forces tantôt plus grandes, tantôt plus petites, a besoin qu'on lui donne toute la puissance motrice qui lui est nécessaire dans la situation la plus désavantageuse de ses pièces; en sorte que la puissance motrice qui pourrait la faire marcher dans une situation moyenne, ne suffirait pas pour la faire toujours aller dans la situation désavantageuse.

Les constructeurs suivent toujours une routine particulière, sans considérer les principes de la mécanique. Leurs connaissances ne s'étendent pas ordinairement au-delà de ce qu'il faut pour espacer les dents, de manière à ce qu'elles ne restent pas accrochées. M. de Lahire est le premier qui ait recherché la forme de dents la plus propre à entretenir une action constante

entre les roues. Je vais rapporter l'extrait d'un Mémoire sur la théorie et la construction des machines, où l'on trouvera à peu près tout ce qui peut être dit sur ce sujet.

M. de Lahire, dans cette savante dissertation, prouve que la forme des dents cherchée doit être en épicycloïde. La solidité du principe est incontestable. Cette forme a, en outre, une propriété très-précieuse, c'est qu'elle exempte entièrement du frottement, l'action mutuelle des roues. Une dent ne fait que s'appliquer sur l'autre, et roule sur elle sans frotter aucunement. Ceci contribue à les faire durer long-temps, ou plutôt à les empêcher tout-à-fait de s'user. Mais cette construction est sujette à une restriction qui n'est pas à négliger. Les dents doivent être faites (*pl. XXIV, fig. 4*), de manière que la partie courbe de la dent *b* éprouve l'action d'une partie plate de la dent *a*, jusqu'à ce qu'elle arrive à la ligne AB, dans le cours de son action ; après quoi la partie courbe de *a* agit sur une partie plate de *b*, ou, en d'autres termes, il faut que l'action totale de *a* sur *b* ne soit complète ou ne commence qu'à la ligne AB qui joint les centres des roues.

Il y a une autre forme de dents qui assure une parfaite unité d'action sans cette restriction gênante, laquelle exigerait une exécution extrêmement soignée. On n'a qu'à former les dents de chaque roue en déroulant sa circonférence ; c'est-à-dire, que l'on donne à la surface agissante G*c*H de la dent *a* la forme de la courbe tracée par l'extrémité du fil déroulé de la circonférence. Il est évident que la ligne F*c*E qui est tirée perpendiculairement aux surfaces au point *c*, est la direction ou la position précise des fils déroulés par lesquels les deux surfaces agissantes sont formées. Cette ligne doit donc être la commune tangente des deux cercles ou circonférences des roues, et par conséquent elle coupera toujours la ligne AB au même point D. Cette forme per-

met aux dents d'agir l'une sur l'autre dans toute l'étendue de la ligne FcE, et permet par conséquent à plusieurs dents d'agir à la fois ; ce qui rentre dans la méthode de M. de Lahire, par laquelle deux dents agissent simultanément ; cette action simultanée, divisant la pression entre plusieurs dents, diminue la quantité de cette pression sur chacune d'elles, et par conséquent diminue les empreintes ou marques qu'elles laissent inévitablement l'une sur l'autre. Par cette méthode, les dents ne sont pas entièrement exemptes de frotter ou de glisser ; mais ces inconvéniens sont presque insensibles. Une dent de trois pouces de longueur, appartenant à une roue de 10 pieds de diamètre, agissant sur une dent d'une roue de 2 pieds de diamètre, ne peut jamais glisser pendant un espace égal seulement à la soixantième partie d'un pouce, quantité tout-à-fait insignifiante.

Dans la confection des dents des roues, il n'est peut-être pas indispensable de tenir rigoureusement à une forme parfaite, excepté dans les cas où une très-grande roue en ferait marcher une très-petite, défaut qu'un bon mécanicien évitera toujours. Cependant, la construction d'une dent parfaite est aisée, et il serait inexcusable de la faire mal. D'ailleurs, des dents bien formées, et un grand nombre de dents agissantes à la fois, communiquent un mouvement extrêmement doux et uniforme, la machine travaille sans bruit, et les dents durent très-long-temps sans se déformer d'une manière sensible. Il est des cas où la plus grande exactitude est indispensable. Parlons du frottement.

Tous les corps, sans en excepter même ceux qui paraissent les plus polis, ont une certaine rudesse ou âpreté qu'il ne dépend pas de l'art d'adoucir ; tous les corps sont percés, tant à la surface que dans l'intérieur, d'une infinité de petits trous, ce qu'on appelle leurs pores, et sont, à cet égard, de vrais cribles ; en sorte que l'air et d'autres fluides peuvent les pénétrer et passer au travers.

Quoique les inégalités des corps ne soient pas toujours sensibles à la vue et au toucher, elles ne laissent pas de se manifester par les effets ; car si on frotte deux marbres bien polis, on en voit naître, à la fin, une poussière fine, et l'on y aperçoit des traits qu'on n'y voyait pas auparavant, ce qui prouve que les parties solides des corps sont autant de pointes qui s'engrènent et s'emboîtent les unes dans les autres, déchirent leur surface, et les sillonnent lorsqu'on les fait mouvoir. C'est cet engrenage ou emboîtement réciproque, en tant qu'il retarde les corps qui se meuvent en se touchant par quelques parties de leurs surfaces, qu'on appelle leur frottement. Les anciens bâtissaient à pierre sèche ; ils frottaient les pierres les unes contre les autres, les usaient, et les posaient ensuite l'une sur l'autre ; elles acquéraient, par ce moyen, une telle adhérence, que, par la suite, aucune force ne pouvait les séparer.

La grandeur des surfaces ne change rien à la quantité du frottement, laquelle demeure toujours la même, tant que la charge du plan ou l'effort perpendiculaire qui la produit est la même. Cette supposition n'est point arbitraire ; voici sur quoi elle est fondée. Supposons deux poids égaux, mais les bases inégales, l'une étant double de l'autre : qu'on les pose sur deux plans inclinés, auxquels on donne l'inclinaison nécessaire pour les mettre en état de glisser pour peu que l'inclinaison devienne plus grande ; il semblerait d'abord qu'il faudrait élever davantage le plan qui supporte le corps qui a une base double, et que le frottement devrait se régler sur le rapport des surfaces ; cependant, si on y réfléchit, on verra que l'inclinaison des plans doit être la même pour les deux corps, ou que l'effort parallèle qui surmonte le frottement, ne doit pas être plus grand pour le corps dont la base est double ; car la mesure du frottement se détermine par la quantité dont les parties solides s'enfoncent

dans les cavités. Si l'enfoncement est deux ou trois fois moindre, le frottement diminuera dans la même proportion. Or, si on donne aux deux plans la même inclinaison, les parties solides ou les petites pointes qui s'élèvent au-dessus de la surface double, s'enfonceront deux fois moins, parce que la pression perpendiculaire qui est la même pour les deux plans, étant distribuée à un nombre de parties deux fois plus grand lorsquelle agit sur la surface double, l'enfoncement de chaque partie sera deux fois moindre : donc, quoique le nombre des parties qui frottent soit double, le frottement total n'en sera pas pour cela plus grand, puisque l'embarras de chaque partie sera deux fois moindre; cet embarras augmente d'un côté à cause du plus grand nombre des parties; et d'un autre, il diminue d'autant, parce que l'obstacle des parties est moindre à proportion que le nombre en est plus grand. C'est l'avis de Mussembroeck, qui dit : « Je ne saurais » être du sentiment de quelques savans, qui ont prétendu que » le frottement augmente lorsque les surfaces deviennent plus » grandes, et qu'au contraire il diminue, lorsque ces surfaces » deviennent plus petites ».

Lorsque les corps ne se meuvent pas avec beaucoup de rapidité les uns sur les autres, le frottement est d'ordinaire en raison de la vitesse, mais pourtant pas exactement; et lorsque ce même mouvement des corps est trop rapide, le frottement augmente considérablement. Cela a lieu dans les corps qui se meuvent les uns sur les autres, soit qu'ils soient secs, soit qu'on les ait frottés d'huile.

Cependant l'huile versée entre les parties de métal, contribue beaucoup à les rendre glissantes, et diminue le frottement; elle produit surtout cet effet dans les plus grandes vitesses; car, lorsque les corps sont secs et qu'on doit les faire mouvoir avec beaucoup de rapidité les uns sur les autres, ce qui a lieu dans

le roulage des voitures, le frottement est plus grand qu'il ne devrait l'être relativement au poids que porte l'essieu. Mussembroeck a trouvé que, si la vitesse était dix et le poids quatre-vingt-quinze, le frottement serait alors cent vingt-huit, au lieu qu'il n'était que soixante-quatre lorsque l'essieu était frotté d'huile.

L'huile est composée de globules fort minces qui s'insinuent dans les cavités des surfaces, ce qui les rend plus unies; ils empêchent, de cette manière, les corps de pouvoir s'enfoncer si profondément l'un dans l'autre.

Un exemple servira mieux à faire connaître la manière dont on doit supputer le frottement des machines, de même que la grandeur de la puissance qui est requise pour mouvoir les fardeaux. (*Voyez pl. XXXI, le dessin d'une grue, fig. 4 et 8.*)

Nous supposons que le poids P est de huit cents livres, d'où il suit que, pour faire équilibre, la puissance B doit être de dix livres. Supposons encore que B fasse dix tours dans le temps d'une minute, que la grande roue C n'en fasse qu'un seul, et que les deux poulies E et F en fassent aussi un ou davantage, suivant que l'axe est plus ou moins épais; comme toutes ces vitesses sont petites, le frottement des essieux de toutes les parties, dans cette machine, sur leurs bassinets de cuivre, est seulement égal à 1, c'est-à-dire, qu'il est au poids comme 1 est à 3, pour prendre le frottement au plus haut point. Le frottement, qui est un tiers du poids, suppose que la puissance et le poids agissent au même essieu; mais si l'essieu auquel le poids est suspendu est plus mince que celui auquel la puissance est appliquée, il faut alors faire toujours attention aux leviers par lesquels le poids et la puissance agissent.

Le poids P est donc de huit cents livres, et le diamètre de la poulie F est au diamètre de l'essieu comme 10 est à 1; c'est pourquoi la puissance en D, qui tire la corde pour lever le poids P,

est à l'égard du frottenrent comme $26\frac{2}{3}$, et elle est, à l'égard de la poulie, égale à 400, et de cette manière comme $426\frac{2}{3}$; mais $26\frac{2}{3}$ font aussi du frottement, de sorte que nous sommes obligés de prendre la puissance en D plus grande ; nous la mettrons, par conséquent, à 427. La puissance en K, qui tire le poids au-delà de la poulie E, doit surmonter le frottement causé par 427, lequel est de $14\frac{7}{30}$. C'est pourquoi le poids qui doit être tiré au-delà de E, sera de $440\frac{37}{30}$; mais $14\frac{7}{30}$ font aussi du frottement, il faut augmenter le poids précédent et le concevoir de 441. Maintenant D est le cylindre de la grande roue de la grue autour de laquelle la corde tourne ; le diamètre de l'essieu est à celui du cylindre comme 1 est à 10 ; par conséquent le frottement du poids sur l'essieu sera $\frac{441}{3 \times 10}$, c'est-à-dire, $14\frac{21}{30}$; c'est pourquoi laforce du cylindre doit être de $455\frac{21}{30}$; mais le diamètre de la roue C, est à celui du cylindre comme 21 est à 1, ainsi la force de la roue doit être comme $455\frac{21}{30}$ est à 21, c'est-à-dire, de $21\frac{441}{630}$ ou $21\frac{7}{10}$, qui est, par conséquent, aussi la force nécessaire aux dents de la petite roue A ; l'épaisseur de l'essieu est à celle de la roue A, comme 1 est à 10 ; par conséquent A doit avoir une force pour surmonter le frottement comme $21\frac{7}{10}$; supposons ceci égal à 1 maintenant, la manivelle B devra être de $10\frac{17}{23}$, c'est-à-dire, à peu près de 11.

Cet exemple suffit pour faire connaître de quelle manière on doit supputer le frottement des autres machines.

Si le frottement est généralement nuisible aux machines, non-seulement parce qu'il consomme inutilement une grande partie de la force qui leur est appliquée, mais encore parce qu'il les détruit plus promptement ; il est certains cas où on peut le mettre à profit. On sait, par exemple, que les essieux et les pivots dans les roues deviennent plus doux par le frottement, et qu'il est ensuite plus aisé de les mouvoir. Une corde passée dans l'entaille d'une poulie, l'oblige de tourner par le seul frottement ; de même

une corde qui environne, de plusieurs tours, l'arbre d'un treuil ou d'un cabestan, devient capable de résister aux plus grands fardeaux, sans qu'il soit possible de la faire glisser, ce qui fait qu'elle peut se dévider d'elle-même vers un bout, tandis que le fardeau s'approchant, elle se roule vers l'autre ; de cette sorte, il n'y en a jamais que la même longueur qui soit roulée, et l'arbre du cabestan n'en est jamais entièrement couvert.

Il semblerait d'abord qu'une corde qui fait divers tours sur un cylindre et qui est tirée par un poids, a toutes les parties également tendues ; cependant, cela n'arrive pas de la sorte. Supposons qu'on ait roulé, comme au hasard et sans dessein, une corde sur un cylindre horizontal dont la surface est lisse et bien polie, et qu'elle soit demeurée lâche dans les différens tours qu'elle fait ; si on suspend un poids à une de ses extrémités, il est certain qu'elle s'accourcira sur le cylindre et que le poids descendra ; or, quoique la surface du cylindre soit bien unie, la corde ne laisse pas que de frotter, et c'est le frottement qui empêche que le mouvement ne se communique également à toutes les parties de la portion roulée ; il est évident que la difficulté que les premières parties ont à glisser, détruisant une partie de l'action de ce poids, les suivantes sont tirées avec moins de force : car la résistance que celles-ci font au mouvement, diminue encore l'action du poids sur celles qui viennent ensuite. Donc, plus les parties de la portion roulée sont éloignées du poids qui les tire, moins elles participent à son action et à son mouvement ; en sorte que l'impression communiquée diminuant à mesure qu'elle s'éloigne de son origine, elle devient insensible avant qu'elle soit parvenue aux parties les plus éloignées ; ainsi la corde demeure inégalement tendue dans sa portion roulée.

Ces diverses observations sont importantes dans la pratique, et l'on trouve tous les jours à en faire l'application dans l'emploi des machines.

A ce que je viens de dire sur les frottemens et sur les moyens d'empêcher qu'ils n'aient lieu, j'ajouterai l'extrait d'un Mémoire tiré de l'Essai sur les forces motrices, ouvrage inédit de M. Gaston, rapporté dans les annales des arts, tom. XXII.

Les frottemens peuvent être envisagés sous plusieurs rapports : 1° sous celui de la chaleur et de la commotion électrique qu'ils peuvent occasionner, phénomène qui peut produire une puissance dont les effets sont incalculables; 2° sous celui de la résistance qui consomme inutilement une partie de la puissance motrice : ceux-ci se subdivisent en frottemens de première et de seconde espèce. Je ne parlerai point ici de ces derniers; mais je rangerai en deux classes ceux de première espèce. Dans la première classe, je place ceux qui résultent des pressions latérales, obliques et verticales, provenant des actions et réactions que les différentes pièces d'une machine exercent réciproquement les unes sur les autres. Je range dans la seconde classe les frottemens occasionés par la pesanteur de ces mêmes machines. Ce n'est que sous ce dernier point de vue que je veux les envisager ici, et tâcher de démontrer que leur réduction totale peut être opérée par un moyen simple et applicable à toutes les machines qui se meuvent en place. Je crois qu'il est désirable d'atteindre ce but, et de démontrer par une suite d'expériences la réalité d'un principe qui n'a jusqu'à présent été contesté par les savans, que parce qu'il n'a été ni assez mûrement examiné, ni envisagé sous son véritable point de vue.

PRINCIPES.

On a coutume d'évaluer au tiers du poids d'un corps la résistance occasionnée par sa pression sur son appui, laquelle s'oppose à son mouvement : sans examiner cette théorie, je l'adopterai, vraie ou fausse, pour la facilité du calcul.

Soit un cylindre A (*pl. XXXI, fig.* 1) d'un pied de diamètre sur autant de profondeur, du poids de cinquante livres, ce qui équivaut à peu près à 1 pied cylindrique d'eau; ce cylindre traversé par une verge inflexible (que je supposerai sans pesanteur) longue de trois pieds, et allant d'une extrémité de la circonférence à l'autre, passant par le centre; ce corps étant posé sur son appui B, il faudra un poids de seize livres $\frac{2}{3}$ appliqué en C, ou un de cinq livres $\frac{5}{9}$ en D, pour déterminer ce cylindre à se mouvoir sur son appui. Ce principe est trop connu pour s'y arrêter davantage.

Je ne porte point en ligne de compte l'augmentation de frottement occasionnée par l'addition du poids qui doit la vaincre.

Maintenant je prends deux autres cylindres (*fig.* 2 *et* 3) de même dimension, mais de poids différens, l'un pesant 59 livres et l'autre 41 livres. Je plonge ces trois cylindres dans l'eau, il n'importe pas à quelle profondeur; celui qui pèse 59 livres ne chargera son appui que de 9 livres. Il faudra donc un poids de 3 livres en C, ou un d'une livre en D pour vaincre son frottement.

Celui qui ne pèse que 41 livres aura sur le volume d'eau qu'il déplace un excédant de légèreté égal à 9 livres, et cet excédent déterminera dans le corps une force d'ascension égale à 9 livres. Le frottement qu'elle occasionnera, s'exercera sur la partie supérieure du cylindre en EEE, au lieu de s'exercer sur la partie inférieure comme dans le cas précédent, où il est le résultat du poids : dans ce cas-ci il est le résultat de la légèreté; mais dans ces deux cas, il faudra les mêmes poids pour les vaincre, c'est-à-dire, 3 livres en C, ou une livre en D.

Revenant au cylindre dont le poids est parfaitement égal à celui du volume d'eau qu'il déplace, je trouverai qu'il n'exerce sur son appui aucune pression, puisqu'il n'a aucun poids qui puisse la produire, que par conséquent il aura une extrême

facilité à se mouvoir ; le moindre poids possible en C ou en D, ou en quelque autre endroit que ce soit de la ligne CD, suffira pour vaincre les obstacles, puisqu'il n'en restera aucun à vaincre, comme je le démontrerai. Je supposerai cependant qu'il faut un poids d'une once pour le mettre en mouvement.

Si maintenant, laissant au cylindre son même diamètre, je lui donne 6 pieds de longueur (*fig.* 10), il pèsera trois cents livres ; le même poids d'une once suffira cependant encore pour vaincre toutes les résistances. Si je double le diamètre, il pèsera douze cents livres, et dans ce cas comme dans le précédent, le même poids d'une once suffira pour lui communiquer le mouvement et pour produire les mêmes effets.

Il résulte de ces expériences, qu'un corps plongé dans l'eau et égal en poids au volume d'eau qu'il déplace, fait en quelque sorte partie de ce fluide ; ils n'exercent l'un sur l'autre aucune pression : en repos lorsque le fluide est en repos, en mouvement lorsqu'il est en mouvement, il se conforme en tout aux lois qui lui sont imposées. Si ce corps dégagé de son appui qui lui devient inutile, perd la moindre parcelle de son poids, il montera à la surface de l'eau ; s'il en acquiert, il descendra au fond. Si cette même parcelle additionnelle de poids est appliquée à la circonférence comme en S (*fig.* 1), elle déterminera dans le cylindre un mouvement de rotation qui ne cessera que lorsque le point S sera parvenu en T ; l'effet contraire aura lieu, si au lieu d'un excédant de poids, on applique une bulle d'air ou un petit morceau de liége en T.

Il est à observer que dans ces mouvemens le cylindre n'éprouvera aucune espèce de frottement ni de résistance de la part du fluide dans lequel il se meut. On sera convaincu de cette vérité, si l'on observe que l'eau peut agir par son poids, par son choc, par sa masse ; qu'elle peut faire éclater le fond ou les côtés d'un

vase qui la contient s'ils sont trop surchargés; mais qu'étant essentiellement incompressible, elle ne peut exercer aucune pression immédiate sur les corps exposés à son action et qui font partie de son volume. Or, le frottement n'étant que le résultat de la pression, il s'ensuit que là où il n'y a point de pression, il ne peut y avoir de frottement. On sera encore plus convaincu de cette vérité, si l'on considère que la puissance requise pour vaincre le frottement d'un corps quelconque est toujours proportionnée au poids de ce corps, dont elle est en quelque sorte partie intégrante; que d'ailleurs elle est astreinte dans tous les cas aux lois ordinaires de la mécanique; tandis que dans le cas présent d'un corps qui se meut dans un fluide, le poids d'une once suffira pour lui imprimer le mouvement, soit qu'il pèse 30, ou 300, ou 3,000, etc. Il n'y aura donc aucun rapport entre la résistance vaincue et la puissance qui doit vaincre, et l'on ne doit considérer cette dernière que comme destinée à vaincre les résistances provenant des imperfections de la machine, qui ne peut être strictement parfaite; toute autre résistance provenant du frottement étant réduite à zéro.

Quelque figure qu'un corps plongé dans l'eau puisse avoir; quelque grandes et irrégulières que soient ses formes et ses surfaces, s'il est d'un poids égal au volume d'eau déplacé, le même effet d'ascension et de descente aura lieu dans les mêmes suppositions énoncées ci-dessus; seulement les effets seront d'autant plus lents et d'autant plus retardés, que les surfaces seront plus grandes et plus irrégulières; mais dans aucun cas, ils ne seront anéantis ni leur tendance détruite. Or, on peut poser en fait qu'un corps, qui, par son poids, requiert une puissance égale à dix livres pour vaincre la résistance occasionnée par le frottement, que ce corps, dis-je, persistera dans l'immobilité sous une puissance de neuf livres quinze onces, etc. Donc par conséquent elle

anéantira l'effet malgré sa tendance ; tandis qu'un corps qui se meut dans un fluide est seulement retardé et arrive plus tard ; mais enfin il arrive, et sa tendance peut être ralentie, mais non pas anéantie. Cette observation servira de réponse à l'objection que ceci ne pourrait être qu'une dispute de mots, puisque j'appelle retardement ce qu'un autre appellerait frottement.

Pour renforcer encore mon opinion, je citerai l'exemple d'un bateau allant à la rame par un temps parfaitement calme : si on y ajoute une voile tendue à angle droit avec la ligne de direction du bateau, non-seulement cette voile ne servira de rien, mais elle augmentera la peine du rameur dans la proportion de l'étendue de la surface et de la vitesse du bateau ; on ne pourra cependant pas dire que c'est le frottement des bords de la voile contre les parties de l'air qui s'oppose à la célérité du bateau, mais le volume d'air que la surface antérieure à la voile est continuellement obligé de déplacer dans sa marche. Il en est de même d'un corps qui se meut dans un fluide quelconque avec lequel il est en équilibre ; car, soit qu'il se meuve horizontalement, obliquement ou verticalement, soit qu'il n'ait qu'un mouvement de rotation sur lui-même, si le corps est irrégulier et a des parties saillantes, son mouvement sera retardé, non pas proportionnellement à son poids, à sa masse ou à son volume, mais proportionnellement à la grandeur de la surface antérieure qui doit déplacer le volume de fluide que le corps doit traverser.

Mais, si un corps de forme cylindrique, sphérique, conique, ou toute autre forme pareille dont toutes les parties correspondantes, dans chaque plan, sont à égale distance du centre ou de l'axe sur lequel il tourne ; si, dis-je, on imprime à un pareil corps un mouvement de rotation sur lui-même, il conservera pendant fort long-temps le mouvement imprimé. La raison en

est simple : ce corps n'ayant aucune partie saillante, aucune partie de l'eau ne sera déplacée; ce corps cependant ralentira son mouvement, et finira par s'arrêter, parce que rien n'étant parfait dans la nature, et encore moins dans les ouvrages des hommes, on devra toujours supposer que l'eau n'est pas ici parfaitement pure et élémentaire, ni parfaitement incompressible, à le prendre dans toute la rigueur du mot; et c'est assez pour se persuader que ce corps ne doit pas conserver éternellement le mouvement qui lui aura été imprimé. Je pourrais ajouter que le corps en mouvement doit tendre vers le repos, du moment que la puissance qui a dû vaincre sa force d'inertie, et le faire passer du repos au mouvement, cesse d'agir.

On conclut de ce principe, qu'en transportant sur un fluide quelconque la totalité du poids d'une machine, on fera disparaître la totalité de la pression provenant de sa pesanteur, et par conséquent, la totalité du frottement qu'elle occasionne, et de la résistance au mouvement qui en est la suite.

On peut tirer de ce théorème une infinité de corollaires dont je ne citerai que quelques-uns qui suffiront pour donner une idée succincte des moyens d'exécution.

Je prendrai pour exemple une roue de moulin que je supposerai peser, avec son arbre et son rouet, trois mille livres; cette roue, posée sur un tourillon, je supposerai encore que l'extrémité du côté de la roue est chargée de deux cents livres, et celle du côté du rouet de mille cent livres. Cela posé, je dis: si, à l'extrémité qui pèse deux mille deux cents livres, j'adapte un cylindre du poids de soixante livres, ce qui déplace un volume d'eau égal à onze cent soixante livres; si ces deux cylindres disposés comme on le voit dans la figure 5 sont traversés par les tourillons auxquels ils sont fixés, ils auront un centre de rotation commun avec la roue. Si maintenant ces deux cylindres sont posés dans

deux caisses remplies d'eau, et disposés de telle manière que les tourillons A et B communiquent dans l'intérieur de la caisse par une lunette assez juste pour ne laisser échapper que le moins d'eau possible, mais cependant pas trop juste, afin que le mouvement de rotation ne soit pas gêné, ce qui est très-facile en faisant passer l'axe au travers d'une pièce de cuir épais, mais gras et souple, fixé à l'œil de la caisse; il est évident que, dans cet état de choses, la totalité du poids de la roue sera soutenue par les deux cylindres flottans, mais cependant contenus par les deux pivots X et Y, engagés dans une crapaudine fixée dans l'épaisseur du bois de la caisse, pour empêcher que la roue ne varie dans son mouvement de rotation. Il n'est pas moins évident que les deux supports de la roue se trouveront soulagés de la totalité du poids qui les surchargerait, et que le poids se trouvant transporté sur un fluide, il en résultera que le frottement sera totalement anéanti, 1° parce qu'il n'y aura plus ni poids ni conséquemment de pression; 2° parce que les cylindres faisant partie du volume d'eau dans lequel ils se meuvent, n'ayant d'ailleurs aucune surface ou partie saillante qui occasionne un déplacement des parties du fluide, n'éprouveront ni retardement ni résistance quelconque dans leur marche. Si cependant on voulait donner une grande vitesse à la machine, les résultats seraient un peu différens, parce que les imperfections et les inégalités des cylindres deviendraient d'autant plus sensibles, que la vitesse serait plus grande. Je dois observer que les seuls frottemens provenant de la pesanteur, se trouvent anéantis sans rien changer à ceux qui proviennent des pressions obliques et latérales qui ont lieu dans toutes les machines, lorsque la puissance et la résistance ne sont pas dans une même ligne avec le point d'appui, et conséquemment forment un angle.

Deux objections semblent se présenter, non pas contre le principe, mais contre son application : la première est la grandeur de l'appareil ; et la seconde, sur ce qu'il fait, en quelque sorte, partie de l'arbre de la roue, ce qui peut être embarrassant dans certaines machines. Je répondrai à la première objection, en disant qu'au lieu d'eau, on peut employer du mercure qui, étant à l'eau à peu près comme 14 est à 1, demandera des cylindres d'une solidité quatorze fois moindre. Dans ce cas, il sera à propos que le mercure soit couvert d'eau, autrement il ne manquerait pas de s'oxider par le mouvement à l'air, et de se changer en une poudre noire. Quant à la seconde objection, je dirai qu'il n'est pas nécessaire que le cylindre fasse partie de l'axe ; qu'il vaut peut-être mieux qu'il en soit indépendant, comme dans la *fig.* 6 (*pl. XXXI*) où l'extrémité du tourillon se meut sur le sommet du cylindre A, et n'éprouve qu'un frottement de seconde espèce. Ce cylindre tourne sur son axe C, engagé dans l'épaisseur de la caisse B ; un intervale d'une ligne entre le cylindre et la caisse est plus que suffisant pour la liberté du mouvement. Ainsi l'on voit qu'il ne faudrait pas une grande quantité de mercure, et qu'il ne pourrait pas s'en perdre par l'œil de la caisse comme dans la *figure* 5. Toutes ces figures doivent être considérées comme des coupes ou sections verticales.

On conçoit facilement que le même principe peut s'adapter à un mouvement circulaire alternatif, tel que celui d'un fléau de balance, du balancier d'une machine à vapeur, ou tout autre de même espèce. Si le mouvement de rotation est parallèle à un plan horizontal, le cylindre, dans ce cas, doit faire partie de l'axe et être placé à son sommet ou à son extrémité inférieure. L'appareil représenté par la *figure* 7 m'a servi à faire toutes mes expériences ; c'est une espèce de meule A qui pèse, avec son

axe, 132 livres, que je déterminais à volonté, tantôt par un cylindre de bois B, d'un volume égal à 132 livres de mercure, ou par un autre de fer-blanc creux O, d'un volume égal à 132 livres d'eau ; j'entourais cette meule d'une soie très-fine passant sur une poulie D ; à cette soie pendait un petit morceau de métal A, pesant trois grains, qui était suffisant pour donner le mouvement à la machine qui, lorsque le cylindre n'était plus soutenu par l'un ou l'autre fluide, requérait un poids F de 12 onces ½ pour se mettre en mouvement ; lequel poids est à trois grains comme 2,383 est à 1. J'ai même obtenu un mouvement très-sensible, mais, à la vérité, plus lent, avec un poids d'un grain seulement.

Je pense qu'on pourrait appliquer ce moyen avec avantage aux meules de moulin. On sait par expérience qu'une meule mout encore très-bien lorsqu'elle a perdu la moitié de son poids : on pourrait donc soulager la puissance de cet excédant de résistance provenant du frottement sur le pivot ; ce frottement est d'autant plus sensible, que le rayon de la lanterne ne représente ordinairement qu'un levier de 7 à 8 pouces, et quelquefois moins. Par ce moyen la seule résistance d'un moulin à farine se réduirait à celle qui résulte du passage du grain entre les deux meules, et du poids indispensable au moulage.

J'ai dit au commencement de ce mémoire, que le moindre excédant possible de poids ou de légèreté suffirait pour faire aller au fond, ou venir à la surface de l'eau un corps, quelque grandes et irrégulières que puissent être ses formes. On conclura de cette assertion, que je pense que les corps n'éprouvent aucune espèce de résistance dans les fluides. Quelque extravagante que puisse paraître cette idée au premier coup-d'œil, j'espère qu'on voudra bien l'examiner avant de me condamner, pour avoir adopté un principe qui m'a été démontré par une suite d'expériences

qui m'ont toujours donné les mêmes résultats, dans le détail desquels je vais entrer.

Dans une caisse de fer-blanc (*fig.* 9), de 7 pieds de longueur, 3 de largeur et 16 de profondeur, remplie d'eau d'un pied de hauteur, j'ai fait flotter un baquet de bois A de 2 pieds de diamètre, plongeant seulement de 3 pouces sur le bord du baquet; en X était fixé un petit clou auquel était attaché une soie très-fine *a*, *a*, *a*, qui allait passer sur une poulie B; au bout de cette soie pendait un poids de trois grains O, à peine suffisant pour tendre la soie qui pesait un grain et demi, et pour vaincre le frottement de première espèce sur la rainure de la poulie qui, comme on le pense bien, ne tournerait pas sous un si faible poids; le frottement sur la poulie était par conséquent le résultat d'un poids de 4 grains ½. Les choses dans cet état, l'eau étant parfaitement calme, j'ai tiré avec beaucoup de précaution la pièce D mise en travers sur le vase XY; cette pièce servait à contenir le baquet A touchant contre Y. Je pourrais alléguer ici un obstacle de plus, provenant de la prétendue attraction des bords du vase Y contre ceux du vase A, mais je dois observer que je n'ai rien remarqué de semblable, et que si cette attraction a lieu dans quelques cas, ce n'est du moins pas entre fer-blanc et bois. De ce qui vient d'être exposé, il résulte qu'à peine un demi-grain de poids agissait sur le vase A devenu libre, et il y avait déjà quelques instans qu'il l'était, que je n'avais encore remarqué aucun mouvement dans le vase A; mais en jetant les yeux en Z, je m'aperçus qu'il avait cependant changé de place, puisqu'il était déjà à environ 1 pouce de distance du bord Y, et en 7 minutes 27 secondes, il fit tout le trajet d'x en X, c'est-à-dire, à peu près 5 pieds. Son mouvement parut un peu s'accélérer, ce que j'attribuai à la longueur de la soie, dont une partie, de résistance qu'elle était, devenait puissance, à mesure que le poids O descendait.

J'ajoutai alors de l'eau dans le vase A, et le fis plonger de 6 pouces; dans ce nouvel état, il fit le trajet en 9 minutes 16 secondes.

Je le plongeai de 9 pouces, et il fit le trajet en 13 minutes 42 secondes.

Le vase XY étant situé entre la porte et la fenêtre toutes deux fermées, j'ai recommencé les expériences en sens contraire, et j'ai eu les mêmes résultats à quelques secondes près. J'en ai fait d'autres avec des poids irréguliers, et le poids de trois grains a toujours été suffisant.

J'aurais de la peine à expliquer les irrégularités dans le rapport des vitesses respectives; mais cela est étranger à mon objet qui est de démontrer qu'il n'y a pas de résistance absolue dans les fluides, et que le moindre poids ou la moindre puissance agissant sur les corps qui s'y meuvent, suffit pour les déterminer au mouvement. Peu importe en quel temps les obstacles sont vaincus; le fait est qu'ils le sont. Je puis donc établir en principe, qu'un corps qui se meut dans un fluide parfaitement calme, n'éprouve aucune résistance de la part du fluide, lorsque la vitesse n'est comptée pour rien.

J'ai cru ce Mémoire intéressant puisqu'il renferme des idées neuves sur les frottemens des corps qui se meuvent circulairement. Le frottement joue un trop grand rôle dans la mécanique pour que tout ce qui y a rapport ne soit pas lu, avec intérêt, des artistes. On sait d'ailleurs que des erreurs conduisent souvent à de grandes vérités.

Outre le frottement, la roideur des cordes apporte de grands obstacles à l'effet des machines.

Une corde est d'autant plus difficile à plier, 1° qu'elle est plus roide et plus tendue par le poids qui la tire.

2° Qu'elle est plus grosse.

3° Qu'elle doit, en se pliant, se courber davantage, c'est-à-dire, se rouler, par exemple, autour d'un plus petit rouleau. M. Amontons, qui a fait beaucoup d'expériences sur cet objet, a trouvé que la résistance qui vient de la roideur causée par les poids qui tirent la corde, augmente à proportion des poids : celle qui vient de la grosseur des cordes augmente à proportion de leur diamètre.

Sur quoi il faut remarquer que ce n'est pas parce qu'une plus grosse corde contient plus de matière qu'elle résiste davantage; car alors sa résistance augmenterait suivant le plus de capacité d'un cercle correspondant à une plus grosse corde, c'est-à-dire, selon les carrés des diamètres, ce qui n'est pas; mais elle augmente suivant la simple proportion des diamètres, parce qu'un point de la circonférence du rouleau, autour duquel la corde doit se plier, est une espèce de point fixe, par rapport auquel le diamètre de la corde doit se mouvoir; par conséquent, plus ce diamètre est long, plus la corde est éloignée du point de mouvement, et plus elle a d'avantage contre la puissance opposée : enfin, la résistance causée par la petitesse des rouleaux, poulies, etc., autour desquels les cordes doivent se rouler, est bien, à la vérité, plus grande pour de plus petites circonférences de rouleaux, poulies, etc.; mais elle n'augmente pas tant, que selon la proportion de ces circonférences.

Il est clair que la résistance causée par la roideur des cordes sera d'autant plus grande, que les cordes, malgré cette roideur, seront obligées de se plier plus vite. Il faut y avoir égard en calculant les résistances de différentes parties de la même corde, qui se plieront avec différentes vitesses.

Pour trouver l'effet de la roideur d'une corde dans une machine, il faut voir dans le mémoire d'Amontons, comment il se sert d'une première expérience qui devient le fondement de tous ses calculs.

On a accroché à quelque chose de fixe, comme au plancher d'une chambre, les extrémités AA des deux cordes AC, AC (*pl. XXIV, fig.* 3), distantes l'une de l'autre de 5 à 6 pouces. Les extrémités de ces cordes, pendant librement vers le bas, portaient le bassin D d'une balance.

On a engagé dans les cordes un cylindre de bois BB, en faisant faire, du même sens, un tour à chaque corde autour de chaque bout du cylindre, ainsi qu'il est représenté (*fig.* 3). On a mis ensuite en D, un poids assez considérable, et on a entortillé vers le milieu du cylindre, du sens contraire à la corde AEFG, c'est-à-dire, du sens EGF, un ruban de fil fort flexible, au bout duquel était un autre petit bassin de balance pendant librement en H; on a mis dans ce bassin assez de poids pour faire descendre le cylindre BB, nonobstant la résistance causée par la roideur des cordes AC, AC.

On a fait une expérience avec des cylindres et des cordes de différentes grosseurs, chargées de différens poids; et après avoir réduit l'action du poids H à une distance égale du point d'attouchement E, dans tous les cylindres, ayant égard au poids de chaque cylindre et des bassins H et D, on a trouvé qu'à $\frac{1}{2}$ pouce de distance du point E, quarante-cinq onces surmontaient la résistance de deux cordes, ayant chacune 3 lignes de diamètre, chargées d'un poids de vingt livres, et tournées autour d'un cylindre de $\frac{1}{2}$ pouce.

Quatre-vingt-deux onces surmontaient cette résistance, le poids étant de quarante livres.

Cent cinquante-trois onces, le poids étant de soixante livres.

D'où il suit que la résistance causée par la roideur des cordes autour des mêmes poulies ou des poulies égales, augmente à proportion des poids qui pendent au bout des cordes.

En continuant l'expérience, on a trouvé que toujours à ½ pouce du point E :

Trente onces surmontaient la résistance de deux cordes, de deux lignes chacune de diamètre, chargées en D d'un poids de vingt livres, et tournées autour du même cylindre.

Quinze onces surmontaient la résistance de deux cordes d'une ligne de diamètre pareillement chargées en D, d'un poids de vingt livres, et tournées autour du même cylindre.

D'où il suit que la résistance causée par la roideur des cordes augmente, non-seulement à proportion des poids qui pendent aux extrémités de ces cordes, mais encore à proportion de leur grosseur, et que, sur des poulies égales, ces résistances sont entr'elles en raison composée des poids et des grosseurs des cordes.

On doit remarquer que la résistance causée par la roideur des cordes de grosseur égale, chargées de poids égaux, augmente bien à mesure que le diamètre des poulies autour desquelles elles sont enveloppées diminue, mais non pas suivant la même proportion. Car, dans le cas dont il s'agit, quoique les diamètres des poulies soient entr'eux comme les nombres 1, 2, 3, les résistances n'augmentent cependant que suivant les nombres 90-114 et 135, au lieu qu'elles devraient augmenter suivant les nombres 90-180-270, si elles suivaient la proportion des poulies.

Pour avoir la première résistance causée par la roideur des cordes d'une machine, on divisera la force mouvante par 10, et on multipliera le quotient par la quantité de lignes que contient le diamètre de la corde, puis on prendra les $\frac{15}{32}$ du produit, si le diamètre de la poulie n'a que 6 lignes; les $\frac{19}{48}$, s'il en a 12, et les $\frac{5}{16}$, s'il en a 18 et au-dessus : on divisera ce dernier produit par la quantité de pouces que le diamètre de la poulie contient, et le quotient de la division sera la valeur cherchée.

Je viens de donner la manière de calculer la force des cordages ; il faut maintenant jeter un coup-d'œil sur les difficultés qui résultent de la forme ronde de ces cordes. On sait qu'il y a beaucoup de danger à s'en servir , soit dans les travaux des mines , soit dans les carrières ; le tortillement forcé qu'on emploie à les former nuit à leur usage.

C'est une vérité reconnue de tout temps dans l'art de la corderie, que la force de plusieurs fils pris séparément est plus grande que quand ils sont réunis pour ne former qu'une corde : les torons sont roulés en spirale , les fibres extérieures occupent plus de place, et sont plus tendues que celles de l'intérieur ; elles portent plus de poids, et ayant déjà cédé aux efforts du tortillement pendant leur confection, elles ne peuvent pas s'allonger comme celles qui ont éprouvé peu ou point de tension , et elles se rompent promptement. Le seul effort de la torsion les casse souvent.

Il résulte donc de ces observations et d'une suite d'expériences nombreuses , que le tortillement affaiblit les cordages ; que les cordes sont d'autant plus faibles, que les hélices que forment les cordons approchent plus de la perpendiculaire à l'axe de la corde ; que les cordes au contraire sont d'autant plus fortes, que les hélices sont plus obliques à l'axe du cordage.

C'est à ces principes reconnus que nous devons l'invention des cordages plats , qu'on devrait s'empresser d'appliquer aux travaux.

Un anglais, nommé John Curr Sheffield, a trouvé la manière de fabriquer des cordes plates.

La grande difficulté que présentait la fabrication de ces cordes était de réunir les torons, pour que l'agrégation de leurs forces pût agir comme une seule et même corde.

L'avantage est considérable sous tous les rapports, puisqu'une corde plate où se trouvent réunis quatre torons peu tortillés, et assemblés de manière à ce que la somme de leurs efforts agisse à la fois, sera plus forte qu'une corde composée de cinq torons; ou du moins cinq torons dans un cordage plat auront plus de force qu'une aussière à six torons. L'économie des matières est frappante : non-seulement on retranche un cinquième ou un sixième du chanvre, en employant un moindre nombre de torons dans la confection d'une corde plate, mais encore ces torons n'étant que légèrement tortillés, ne sont pas raccourcis dans leur longueur comme les cordages ordinaires dans l'opération du commettage ; ce qui donne encore une plus grande économie.

Les cordages plats ont encore un avantage dans l'usage, c'est qu'ils ne peuvent se détordre ; se repliant toujours sur eux-mêmes, il leur est impossible de sortir de leur position, tandis qu'on ne peut empêcher le détortillement des cordes rondes.

CHAPITRE DEUXIÈME.

DES MATÉRIAUX PROPRES A CONSTRUIRE.

DES BOIS.

Nous allons maintenant parler des matériaux dont on compose les ponts, et les examiner les uns après les autres, en commençant par les bois, et, pour marcher par principes, je prendrai le bois à son origine.

Un arbre est un corps organisé, dont la structure n'est pas encore bien connue. Les expériences de Gréa, de Malpighi et surtout celles de Hales, ont, à la vérité, donné de grandes lumières sur l'économie végétale; et il faut avouer qu'on leur doit une grande partie de ce que l'on connaît en ce genre; mais, dans cette science comme dans beaucoup d'autres, on ignore beaucoup plus de choses qu'on n'en sait. Je ne ferai point ici la description anatomique des différentes parties d'un arbre : cela serait inutile à mon objet; il me suffira de donner une idée de la manière dont les arbres croissent, et de la façon dont les bois se forment: cette idée se lie à celle de leur figure et de leur usage.

Une semence d'arbre, un gland qu'on jette en terre au printems, produit, au bout de quelques semaines, un petit jet tendre et herbacé (Buffon), qui augmente, s'étend, grossit, durcit et contient déjà, dès la première année, un filet de substance ligneuse. A l'extrémité de ce petit arbre, est un bouton qui s'épanouit

l'année suivante, et dont il sort un second jet semblable à celui de la première année, mais plus vigoureux, qui grossit et s'étend davantage, durcit dans le même temps, et produit aussi, à son extrémité supérieure, un autre bouton qui contient le jet de la troisième année, et ainsi des autres, jusqu'à ce que l'arbre soit parvenu à toute sa hauteur.

L'accroissement des arbres en hauteur se fait donc par plusieurs productions semblables et annuelles ; de sorte qu'un arbre de 100 pieds (32m,484) de hauteur est composé, dans sa longueur, de plusieurs petits arbres mis bout à bout : le plus grand n'a pas souvent deux pieds de hauteur. Tous ces petits arbres de chaque année ne changent jamais de hauteur; ils existent dans un arbre de cent ans, sans avoir grossi ni grandi : ils sont seulement devenus plus solides. Voilà comme se fait l'accroissement en hauteur : l'accroissement en grosseur en dépend. Ce bouton qui fait le sommet du petit arbre de la première année, tire sa nourriture à travers la substance et le corps même de ce petit arbre ; mais les principaux canaux qui servent à conduire la sève, se trouvent entre l'écorce et le filet ligneux ; l'action de cette sève en mouvement dilate ces canaux et les fait grossir; tandis que le bouton, en s'élevant, les tire et les allonge ; de plus, la sève, en y coulant continuellement, y dépose des parties fixes qui en augmentent la solidité. Ainsi, dès la seconde année, un petit arbre contient déjà, dans son milieu, un filet ligneux en forme de cône fort allongé : c'est la production en bois de la première année ; il contient aussi une couche ligneuse aussi conique, qui enveloppe ce premier filet et le surmonte : c'est la production de la seconde année. La troisième couche se forme comme la seconde : il en est de même de toutes les autres, qui s'enveloppent successivement et continûment ; de sorte qu'un gros arbre est un composé d'un grand nombre de cônes ligneux, qui s'enveloppent et se

recouvrent tant que l'arbre grossit. Lorsqu'on vient à l'abattre, on compte aisément, sur la coupe transversale du tronc, le nombre de ces cônes, dont les sections forment des cercles concentriques, et on reconnaît l'âge de l'arbre par le nombre de ces cercles; car ils sont distinctement séparés les uns des autres. Dans un chêne vigoureux, l'épaisseur de chaque couche est de deux ou trois lignes : cette épaisseur est d'un bois dur et solide; mais la substance qui unit ensemble les cônes ligneux, n'est pas, à beaucoup près, aussi ferme : c'est la partie la plus faible du bois; donc l'organisation est différente de celle des cônes ligneux, et dépend de la manière dont ces cônes s'attachent et s'unissent les uns aux autres; manière que nous allons expliquer en deux mots.

Les canaux longitudinaux qui portent la nourriture au bouton, non-seulement prennent de l'étendue et acquièrent de la solidité par l'action et le dépôt de la sève, mais ils cherchent encore à s'étendre d'une autre façon; ils se ramifient dans toute leur longueur, et poussent de petits filets comme de petites branches, qui, d'un côté, vont produire l'écorce, et de l'autre, vont s'attacher au bois de l'année précédente, et forment, entre les deux couches de bois, un tissu spongieux qui, coupé transversalement, même à une assez grande épaisseur, laisse voir plusieurs petits trous, à peu près comme on en voit dans la dentelle. Les couches du bois sont donc unies les unes aux autres par un réseau. Ce réseau n'occupe pas autant d'espace que la couche ligneuse; il n'a qu'une demi-ligne ou environ d'épaisseur : cette épaisseur est à peu près la même dans tous les arbres de même espèce; au lieu que les couches ligneuses sont plus ou moins épaisses, et varient si considérablement dans la même espèce d'arbres, comme dans le chêne, que j'en ai mesuré qui avaient trois lignes et demie, et d'autres qui n'avaient qu'une demi-ligne d'épaisseur. Par une simple exposition de la contexture du bois, on voit que

la cohérence longitudinale doit être bien plus considérable que l'union transversale.

Je ne suivrai point Buffon dans ses nombreuses observations, dont le principal résultat est que la force du bois est proportionnelle à sa pesanteur ; de sorte qu'une pièce de même longueur et de même grosseur, mais plus pesante qu'une autre pièce, est aussi plus forte à peu près en même raison. Ce résultat donne les moyens de comparer la force des bois qui viennent de différens pays et de différens terrains.

Les bois de même espèce, venant de divers pays, donnent des bois qui diffèrent considérablement en dureté, en densité et en fermeté. On remarque encore beaucoup de différence entre les arbres qui croissent dans un terrain plus sec ou plus humide, plus élevé ou plus bas, sur des côtes exposées au nord ou au midi. Le bois que fournissent la plupart des arbres qui ont pris naissance dans un terrain sablonneux, est fragile ; au contraire, le bois de ceux qui ont été plantés dans un terrain argileux, est souple, pliant, et ses parties sont fortement unies ensemble.

Les bois sont susceptibles d'une grande durée, lorsqu'on les emploie avec la force et les dimensions proportionnées aux efforts qu'ils ont à soutenir.

La pierre a sur les bois l'avantage d'une plus grande dureté, de pouvoir résister plus long-temps aux intempéries de l'air, de n'être pas sujette à se tourmenter et à changer de forme et de volume, de procurer aux édifices qui en sont construits une solidité et une stabilité plus grandes que celles qui résultent de l'emploi du bois.

Le bois est moins fragile que la pierre, se travaille et se transporte plus facilement, peut servir à tirer et à porter; on peut le poser de bout, en travers ou incliné. La pierre, au contraire, ne peut résister solidement qu'à l'effort de la pression, étant posée l'une sur l'autre.

Il est beaucoup de circonstances où on ne peut pas substituer la pierre au bois, comme dans les machines et constructions hydrauliques, et même dans les édifices, pour les cintres et les échafauds.

On connaît le but et l'utilité des expériences de Buffon; car l'orsqu'il s'agira d'un ouvrage important, on pourra aisément, au moyen de sa table, et en pesant les pièces ou seulement des échantillons de ces pièces, s'assurer de la force du bois qu'on met en œuvre, et on évitera le double inconvénient d'employer trop ou trop peu de cette matière, que souvent on prodigue mal à propos, et que quelquefois on ménage avec encore moins de raison.

Il est bon de savoir que le bois du pied d'un arbre pèse plus que le bois du tronc au milieu de sa hauteur; et que celui de ce milieu pèse plus que le bois du sommet, et cela à peu près en progression arithmétique, tant que l'arbre prend de l'accroissement; mais il vient un temps où le bois du centre et celui de la circonférence du cœur pèsent à peu près également, et c'est le temps auquel le bois est dans sa perfection. Enfin, sur son déclin, le centre de l'arbre venant à s'obstruer, le bois du cœur se sèche faute de nourriture suffisante; il devient plus léger que le bois de la circonférence, et cette décadence arrive plus ou moins promptement, à raison de la profondeur et de la qualité du terrain, et suivant une foule de circontances qui peuvent prolonger ou raccourcir le temps de l'accroissement des arbres.

Si nous avons examiné le bois comme naturaliste en le considérant dans sa croissance, nous allons maintenant l'examiner comme charpentier, abattu et près d'être mis en œuvre, d'abord selon ses espèces, ses façons et ses défauts.

On appelle *bois dur* celui qui a le fil gros, qui vient dans les terres fortes et au bord des forêts : on l'emploie pour la charpente.

Tendre ou *doux*, le bois qui a peu de fil, est moins poreux, et a moins de nœuds; il est employé pour les assemblages qui ne fatiguent point.

Léger, tous les bois blancs.

Affaibli, celui dont on a considérablement diminué l'équarrissage, pour lui donner une forme quelconque; on le toise par sa partie la plus grosse.

Apparent, celui qu'on met en œuvre dans les ponts de bois ou autres ouvrages en charpente, et qu'on ne couvre d'aucune matière, soit plâtre ou mortier.

Bouge, celui qui est courbé ou bombé en quelque endroit.

Carié ou *vicié*, celui qui a des nœuds pourris ou malandreux.

De brin ou *de tige*, celui qu'on a équarri, en ôtant seulement les quatre dosses-flaches, et dont on se sert pour les poutres, tirans, arbalétriers, etc.

D'échantillon, tous les bois qui ont les grosseurs et longueurs ordinaires, tels qu'ils ont été faits dans les forêts.

Déversé ou *gauche*, tout bois qui, après avoir été équarri et travaillé, se déjette, se courbe et perd la forme qu'on lui avait donnée.

D'équarrissage, celui qui est propre à recevoir la forme d'un parallélipipède de plus de six pouces de gros.

De refend, celui qui, ayant le fil droit, est propre à être refendu.

Flache, celui dont les arètes ne sont pas bien vives, celui qui ne pourrait être équarri sans beaucoup de déchet.

En grume, celui qui n'est point équarri, dont on a seulement coupé les branches, et que l'on emploie de toute sa grosseur ordinairement en pilotis.

De sciage, celui qui est débité et refendu avec la scie.

Refait, celui qui, étant gauche et flache, est redressé au cordeau et équarri sur ses faces.

Gelif, celui qui a des gersures et des fentes causées par la gelée.

Roulé, celui dont les crues de chaque année sont séparées et ne font pas corps.

Sain et *net*, celui qui n'a ni gale, ni fistule, ni malandres, ni nœuds vicieux.

Vif, celui dont les arêtes sont bien vives et sans flaches, et où il ne reste ni aubier ni écorce.

Les bois de bonne qualité sont sains, à droit fil, non roulés, et n'ont ni fentes ni gerçures.

Le bois de sapin peut servir pour le cintrage des arches, pour échafauder; il ne ploie jamais sous le faix, il casse plutôt; au lieu que le chêne ploie et charge beaucoup les ouvrages; cependant il n'y a pas de meilleur bois que le chêne pour la charpente des ponts, des pilotis, etc. Il dure très-long-temps exposé à l'air, et il ne pourrit jamais dans l'eau.

M. Rondelet, dans son *Traité de Charpente*, dit que la pesanteur spécifique moyenne du bois de chêne nouvellement abattu, est de mille à mille cinquante-quatre; c'est-à-dire, que le pied cube pèse de soixante-dix livres à soixante-quatorze livres : il diminue de poids en séchant. Il n'est assez sec, pour être employé à la charpente, que quand son poids est réduit à soixante ou soixante-trois livres. On a trouvé que le plus grand degré de dessèchement qu'il puisse acquérir, est d'environ le tiers de son poids; ce qui réduit sa pesanteur, pour un pied cube, à cinquante ou cinquante-trois livres.

La densité du bois, en général, est en rapport avec la durée de son accroissement.

De deux pièces de même bois, ayant les mêmes dimensions, la plus forte est celle qui est la plus pesante.

Les pièces tirées de la partie inférieure de l'arbre sont plus pesantes que celles tirées du milieu, et par conséquent elles sont aussi plus fortes.

Le bois de chêne et, en général, tous les bois trop secs, sont moins forts et plus cassans que ceux récemment coupés ; ces derniers sont de peu de durée ; ils se corrompent facilement. Les bois moyennement secs, c'est-à-dire, qui n'ont perdu que le sixième de leur poids, sont ceux qu'il faut préférer.

Les bois agissent dans les constructions où on les emploie, tantôt par leur force absolue, tantôt par leur force relative. La première est représentée par l'effort nécessaire pour rompre un morceau de bois, en le tirant par les deux bouts, selon la longueur de ses fibres.

La force relative du bois dépend de sa position ; ainsi, une pièce de bois posée horizontalement sur deux appuis placés à ses extrémités, se rompt plus facilement et sous un moindre effort que si elle était inclinée ou posée aplomb.

L'effort pour la rompre est d'autant moins grand que les pièces sont plus longues, sans cependant décroître tout-à-fait en raison inverse de leur longueur, les grosseurs étant égales.

Dans le bois dont les fibres ne sont pas tranchées, la force absolue de sa grosseur est à peu près la même, en sorte que pour deux morceaux de bois de même nature et de même grosseur, il faut un effort égal pour les rompre, en les tirant par les deux bouts, quoique leur longueur soit différente.

L'ingénieur doit étudier les proportions à donner aux pièces en grosseur et en longueur pour résister à tel effort, dans les ponts, comme dans tout autre ouvrage. Il peut résulter de très-

grands inconvéniens, si on les emploie trop gros, trop faibles, ou trop courts.

M. de Lahire, dans son *Art de la Charpente*, donne une table des grosseurs que doivent avoir les bois par rapport à leur portée. Sa progression est de 3 pieds (0^m,975) en 3 pieds (0^m,975); je la rapporte ici telle qu'il la donne.

MESURES ANCIENNES.			MESURES NOUVELLES.		
LONGUEUR.	LARGEUR.	HAUTEUR.	LONGUEUR.	LARGEUR.	HAUTEUR.
Pieds.	Pouces.	Pouces.	m. milli.	m. milli.	m. milli.
12	10	12	3, 573	0, 271	0, 325
15	11	13	4, 873	0, 298	0, 352
18	12	15	5, 847	0, 325	0, 406
21	13	16	6, 822	0, 352	0, 433
24	13 ½	18	7, 796	0, 339	0, 487
27	15	19	8, 771	0, 406	0, 514
30	16	21	9, 745	0, 433	0, 569
33	17	22	10, 720	0, 460	0, 596
36	18	23	11, 694	0, 487	0, 623
39	19	24	12, 669	0, 514	0, 650
42	20	25	13, 643	0, 542	0, 677

La force du bois n'est pas proportionnelle à son volume : une pièce double ou quadruple d'une autre pièce de même longueur est beaucoup plus du double ou du quadruple plus forte que la première. Par exemple, il ne faut pas, suivant les expériences faites par M. de Buffon, quatre milliers pour rompre une pièce

de dix pieds de longueur et de quatre pouces d'équarrissage, et il en faut dix pour rompre une pièce double; il faut vingt-six milliers pour rompre une pièce quadruple, c'est-à-dire, une pièce de dix pieds de longueur sur huit pouces d'équarrissage. Il en est de même pour la longueur; il semble qu'une pièce de huit pieds et de même grosseur qu'une pièce de seize pieds, doit, par les règles de la mécanique, porter juste le double; et cependant elle porte beaucoup plus du double.

M. de Buffon a trouvé que la force du bois est proportionnelle à sa pesanteur: de sorte qu'une pièce de même longueur et de même grosseur, mais plus pesante qu'une autre pièce, sera aussi plus forte à peu près en même raison.

Il a trouvé aussi une augmentation et une diminution de poids et de résistance en progression arithmétique entre les parties de bois avoisinant le centre, celles avoisinant la circonférence, et celles entre le centre et la circonférence.

Il a remarqué encore que dans les pièces de même grosseur, la règle de la résistance n'est pas tout-à-fait en raison inverse des longueurs, et que cette résistance n'est pas non plus exactement en raison directe de la largeur et du carré de la hauteur, suivant le principe établi par Bernouilli, dans un Mémoire lu à l'Académie en 1705.

Il suit encore des expériences de M. de Buffon que la résistance du bois décroît considérablement à mesure que la longueur des pièces augmente, et que cette résistance augmente aussi considérablement à mesure que la longueur des pièces diminue.

Une pièce peut rompre par son propre poids; car, si vous augmentez sa longueur sans augmenter son équarrissage, alors elle rompra sous le plus léger fardeau. On se tromperait lourdement, dit M. de Buffon, si, admettant que la charge d'une pièce de 7 pieds ($2^{m},274$) de longueur et de 5 pouces ($0^{m},135$)

d'équarrissage est de 11, 525, on concluait que celle d'une pièce de 28 pieds (9^m,096) devrait être de 2,881, et celle d'une pièce de 56 pieds (18^m,191) de 1,440. Il résulte, au contraire, des expériences, que la résistance d'une pièce de 14 pieds (4^m,548) n'est que de 5,300, celle d'une pièce de 28 (9^m,096), de 1,775; et M. de Buffon présume que la pièce de 56 (18^m,191) romprait sous le fardeau de 1,775 livres.

Tous les auteurs qui ont écrit sur la résistance des solides en général et du bois en particulier, ont donné comme fondamentale la règle suivante :

La résistance est en raison inverse de la longueur, en raison directe de la largeur, et en raison doublée de la hauteur. Mais cette règle, établie par Galilée, et applicable, à la rigueur, à tous les solides inflexibles et qui rompraient tout-à-coup, ne peut l'être aux solides élastiques, tels que le bois; elle doit être modifiée. Bernouilli a fort bien observé que, dans la rupture des corps élastiques, une partie des fibres s'allonge, tandis que l'autre partie se raccourcit, pour ainsi dire, en refoulant sur elle même.

Nous avons dit que la force du bois est proportionnelle à sa pesanteur : cette remarque donne les moyens de comparer la force du bois qui vient de différens pays et de différens terrains.

Lorsqu'il s'agira d'une construction importante, on pourra aisément, au moyen de la table ci-après et en pesant les pièces, ou seulement les échantillons de ces pièces, s'assurer de la force du bois qu'on emploie; et on évitera le double inconvénient d'employer trop ou trop peu de cette matière, ainsi que je l'ai déjà dit plus haut.

Pour essayer de comparer les effets du temps sur la résistance des bois, et pour reconnaître combien il diminue de sa force, M. de Buffon a choisi 4 pièces de 18 pieds de longueur sur 7

pouces de grosseur ; il en a fait rompre deux qui, en nombre rond, ont porté 9 milliers chacune pendant une heure ; il a fait charger les deux autres de 6 milliers seulement, c'est-à-dire, des deux tiers, et il les a laissées ainsi chargées, résolu d'attendre l'événement : l'une de ces pièces a cassé au bout de trois mois et vingt-six jours ; l'autre, au bout de six mois et dix-sept jours. Après cette expérience, il a fait travailler deux autres pièces toutes pareilles, et il ne les a fait charger que de la moitié, c'est-à-dire, de 4,500 : M. de Buffon les a tenues plus de deux ans ainsi chargées ; elles n'ont pas rompu, mais elles ont ployé assez considérablement. Ainsi, dans tous les bâtimens qui doivent durer long-temps, il ne faut donner au bois tout au plus que la moitié de la charge qui peut le faire rompre ; et il n'y a que dans les cas pressans et dans les constructions qui ne doivent pas durer long-temps, comme des ponts provisoires, des échafauds, etc., qu'on peut hasarder de donner au bois les deux tiers de sa charge.

Cependant les académiciens Péronnet et Deparcieux manifestent plus de hardiesse sur la charge qu'on peut donner aux bois de construction. Sachant que, d'après les expériences de M. de Buffon, des pièces chargées des deux tiers du poids qui les fait rompre dans le tems de la charge, se sont rompues au bout de six mois, ils ont pensé qu'on ne doit pas charger les bois au-delà du quart du poids qui les fait rompre, étant encore verts. Lecamus de Mézières, indique les proportions suivantes, qu'il regarde comme le résultat des meilleures expériences.

POUTRES.			SOLIVES.		
LONGUEUR.	LARGEUR.	HAUTEUR.	LONGUEUR.	LARGEUR.	HAUTEUR.
Pieds.	Pouces.	Pouces.	Pieds.	Pouces.	Pouces.
12	10	12	12	6	7
15	11	13	15	7	8
18	12	15	18	8	9
21	13	16	19 ½	9	10
24	14	18	21	10	11
27	15	19	24	11	12
30	16	21	27	12	13
33	17	22			
36	18	23			
39	19	24			
42	20	25			

En disant 12 pieds, on entend parler des termes moyens entre ce nombre et celui de 15 pieds, et ainsi des autres.

J'ai dit plus haut que le bois de chêne était le meilleur qu'on pût employer dans les constructions des charpentes exposées à l'air : il ne doit être abattu que depuis l'âge de soixante ans jusqu'à cent. C'est sans contredit le plus utile de tous les arbres; il est naturellement répandu dans tous les climats tempérés; sa solidité répond de celle de toutes les constructions dont il forme le corps principal; sa force le rend capable de soutenir de pesans fardeaux dont la moitié ferait fléchir la plupart des autres bois, et sa durée peut aller jusqu'à 600 ans sans altération, lorsqu'il est à couvert des injures de l'air. Si on l'emploie sous terre et dans l'eau, on estime qu'il peut durer 1500 ans.

Des observations faites sur la croissance en hauteur de plusieurs chênes de haute futaie ont donné pour résultats moyens ·

AGE.	HAUTEUR.	ÉPOQUES.	CROISSANCE annuelle en hauteur.
5 ans.	1^m, 75	5 premières années.	0^m, 35
10	3, 36	5 à 10	0, 32
20	6, 25	10 à 20	0, 29
30	9, 00	20 à 30	0, 27
40	11, 00	30 à 40	0, 20
50	12, 25	40 à 50	0, 12
60	12, 50	50 à 60	0, 02

La plus forte croissance s'est donc faite dans les dix premières années; elle a faiblement diminué jusqu'à 30 ans; ensuite la diminution a été plus considérable. D'autres observations, faites dans d'autres forêts, ont donné une croissance faible jusqu'à 3 ans, forte jusqu'à 15, uniforme jusqu'à 30, et décroissante jusqu'à l'époque où les arbres se couronnaient.

Voici une table de la croissance du chêne en grosseur :

NOMBRE D'ANNÉES.	CROISSANCE DU DIAMÈTRE.	CROISSANCE DE LA CIRCONFÉRENCE.	OBSERVATIONS.
10	21 milli.	66 milli.	On voit que la croissance était faible dans les premières années; qu'elle augmente successivement jusqu'à 20 ans; qu'elle a été uniforme jusqu'à 60, et qu'elle a diminué très-sensiblement jusqu'à 200 ans. La croissance annuelle des 50 premières années était de 15 millimètres; celle des 100 premières années, de 11 millimètres; et l'augmentation moyenne de 200 années, de 8 millimètres. Cette croissance s'entend de la circonférence. Il résulte de cette table qu'un chêne de 100 ans n'a que 0m 364 de diamètre.
20	65	205	
30	132	413	
40	187	587	
50	243	763	
60	272	868	
70	300	943	
80	323	1016	
90	344	1088	
100	364	1143	
110	383	1203	
120	402	1265	
130	422	1328	
140	443	1391	
150	464	1458	
160	383	1519	
170	503	1580	
180	523	1643	
190	542	1703	
200	561	1763	

Le bois de châtaignier est aussi très-bon pour la charpente, mais il faut le réserver pour l'intérieur des bâtimens; il a besoin, pour se conserver, d'être à couvert. L'accroissement du châtaignier est du double plus prompt que celui du chêne. Il jette plus en bois, il réussit à des expositions et dans des terrains moins bons, et il est bien moins sujet aux insectes : on voit beaucoup d'anciennes charpentes en châtaignier qui semblent sortir des mains de l'ouvrier. Cependant, moins fort que le chêne, quand il est vieux, il devient cassant, et sujet à se fendre.

Le sapin peut, pour l'utilité, tenir le premier rang après le chêne et le châtaignier. On a vu dans les mêmes localités des charpentes en sapin se conserver beaucoup mieux que celles faites en châtaignier. La texture du bois de sapin n'est pas uniforme; les cônes concentriques dont il est formé sont séparés par des parties plus tendres et spongieuses. En sorte qu'on peut dire que chaque cône concentrique porte son aubier; d'où il résulte que ce bois équarri ou débité en planches, présente des veines longitudinales formées par les parties dures qui sont plus colorées. Ces veines sont d'autant plus larges que les cônes sont coupés plus obliquement. D'après des expériences faites par M. Parent pour connaître la résistance des bois de chêne et de sapin, expériences que l'on trouve consignées dans les *Mémoires de l'Académie des sciences*, année 1707, il résulte que la force moyenne du sapin est à celle du chêne, comme 358 est à 300, ou comme 119 est à 100.

Le bois d'aune ne pourrit point dans l'eau, on en fait des tuyaux de pompe, des conduits d'eau, etc. Le charme, l'orne et le frêne servent au charonnage; les manches d'outils, les dents de roues d'engrenage, les fanaux de lanternes sont faits avec le cormier.

Rapportons ici un conseil donné par Mussenbroeck, relativement à la conservation du bois. « On peut, dit-il, conserver le » bois des siècles entiers dans toute sa dureté et comme s'il était » neuf, pourvu qu'on l'enduise d'huile de lin, qui en bouchera » les pores; cette huile colle, pour ainsi dire, les parties du bois » ensemble : l'expérience nous a appris qu'il faut peindre le bois, » si on veut le conserver long-temps. Plus les parties intermé- » diaires s'ajustent exactement avec la figure des cavités qu'elles » remplissent, plus elles attirent les deux corps et augmentent » en même temps leur adhérence. » Cela n'est pas entièrement

exact : cette huile n'attire point les deux corps, mais seulement elle en remplit, comme le dit Mussembroeck, toutes les cavités, ou les tapisse, et empêche l'effet de l'air qui, s'insinuant dans tous les corps et principalement dans les bois et les pierres, aide à les détacher de leurs masses, et fait en quelque façon l'office de dissolvant. Ainsi, tous les corps qui présenteront plus de surface seront les premiers détruits. Le chêne, dont les pores sont plus serrés, dont le bois est plus compact, offre moins de surface à l'air que le sapin, et doit par conséquent durer plus long-temps.

Quand le bois est plongé dans une grande masse d'eau, et surtout dans de l'eau courante, l'eau en contact est sans cesse renouvelée ; l'action de sa combinaison est sans effet, et l'échauffement n'a point lieu.

Ce que l'on doit craindre le plus dans les bois, c'est la succession d'action de l'air et de l'eau. Ceux qui sont exposés à cette double action, se décomposent en très-peu de temps ; mais ceux qui sont exposés à une humidité continuelle, et dans lesquels l'eau séjourne long-temps, se décomposent encore plus vite.

Parmi les bois, il en est dont la décomposition à l'air se fait plus rapidement que d'autres. Les bois résineux sont ceux qui se décomposent le moins, à cause de la résine dont ils sont pénétrés ; ensuite viennent les bois durs. Les bois tendres, comme le saule, le peuplier, le bouleau, l'aune, sont ceux dont la décomposition à l'air est la plus prompte. On a vu des portes de cèdre et même des boiseries, conserver, après un usage long-temps continué, la fraîcheur du moment où elles avaient été posées.

Il est du bois qui se conserve plus facilement imbibé d'eau ; tel est, par exemple, l'aune : c'est pourquoi on le préfère pour

la construction des tuyaux à travers lesquels l'eau doit couler. A défaut d'aune, on emploie l'orme qui se conserve assez longtemps : ces deux bois croissent dans des terres humides.

Voici diverses observations sur la durée et la conservation des bois, extraites des ouvrages de M. Duhamel :

« 1° Quand on forme quelqu'obstacle à l'évaporation de la » sève, le bois tiré d'une forêt, et qui se trouve encore rempli » de sève, doit avoir peu de durée, et se pourrir plus promp- » tement que celui qu'on a laissé se dessécher avant que de » l'enduire de quelque substance que ce soit, qui puisse faire » obstacle à l'évaporation de la partie phlegmatique de la sève.

» 2° L'expérience apprend que des bois verts qu'on charge » d'un poids considérable, se courbent sous cette charge, et » prennent la forme d'un arc, ce qui diminue leur force, parce » qu'il se trouve alors une tension inégale dans les fibres, et que » celles qui sont à l'extrémité, la courbe étant déjà fort tendue, » se trouvent, par cette courbure, dans un état de dilatation » qui doit les affaiblir.

» 3° Quand plusieurs pièces de bois vert sont si près l'une de » l'autre qu'elles se touchent, elles pourrissent plus promptement » que quand elles sont renfermées entre des pierres, des briques, » etc., parce que la sève des pièces voisines forme une plus » grande somme d'humidité, et que cette humidité se rassem- » ble entre les pièces et augmente la cause prochaine de sa pour- » riture.

» 4° Les bois extrêmement vieux et secs subsistent fort long- » temps, quand on ne les surcharge pas, et quand on les tient à » couvert et au sec, comme de la menuiserie qui s'emploie dans » l'intérieur des maisons ; mais ces bois se détruisent prompte- » ment, quand ils se trouvent exposés à un air humide, telles que » les portes des écluses, les fonds de vaisseaux, etc.

» 5° La pourriture fait d'autant plus de progrès que les corps » qui en sont susceptibles sont placés dans des lieux chauds et » humides, parce que cette position est la plus favorable à la fer- » mentation, et par conséquent à la putréfaction.

» 6° Les bois tenus au sec et exposés au grand air, comme » sont les charpentes des maisons, sont dans une position très- » favorable pour leur conservation, lorsqu'on a soin d'entretenir » les ouvertures.

» 7° Les bois au contraire qui sont toujours dans l'eau, ou » renfermés dans de la glaise ou du sable humide, ne pourris- » sent jamais, de quelques qualités qu'ils soient; j'ai vu les pi- » lotis d'un pont qui avaient resté sous l'eau depuis un temps » immémorial, et qui étaient encore fort sains. Ils paraissaient » fort durs, même étant devenus secs; mais quand on les travail- » lait soit au rabot soit à la varlope, les copeaux qui en sor- » taient se réduisaient en petits fragmens.

» Rien ne prouve mieux que les bois, même ceux qui sont » tendres, se conservent pendant un tems considérable dans » l'eau ou dans la terre humide, qu'une observation que le ha- » zard m'a fournie : en faisant une fouille, on trouva un pilotis » de sapin qui avait servi pour les fondations d'une église tom- » bée de vétusté et démolie depuis 80 ans, ce pilotis avait plu- » sieurs siècles; l'extérieur du bois était détruit inégalement, » suivant que les veines s'étaient trouvées plus ou moins tendres; » mais l'intérieur était parfaitement sain; il avait la couleur et » l'odeur de résine, comme des pièces du même bois qu'on au- » rait employées récemment. La circonstance de cette odeur de » résine qui s'était conservée dans un bois aussi vieux m'a paru » une chose très-singulière.

» 8° Il n'en est pas de même des bois qui sont exposés tantôt » au sec et tantôt à l'humidité. Les fibres ligneuses qui ont été

» tendues par l'eau, sont ensuite resserrées par le sec; ce mou-
» vement alternatif et continuel les fatigue et les détruit; l'eau
» emporte avec elle, toutes les fois qu'elle s'évapore, quelques-
» unes des parties les moins fixes du bois.

» 9° Les bois qui restent submergés se réduisent peu à peu à
» rien, lorsqu'ils sont exposés au cours de l'eau. Ce fluide les
» use imperceptiblement, comme ferait le frottement des corps
» solides, quoique plus lentement, et souvent même dans l'eau
» dormante. La superficie en est détruite par les insectes : il ne
» s'agit pas ici des vers à tuyaux qui détruisent les digues de
» Hollande aussi bien que nos vaisseaux; il n'est question que
» de certains petits insectes qui ne pénètrent pas bien avant dans
» le bois, mais qui endommagent tellement la superficie, qu'il
» en faut quelquefois retrancher l'épaisseur d'un pouce ou deux,
» lorsqu'on veut le travailler.

» 10° Il est très-important de remarquer que les bois d'excel-
» lente qualité subsistent fort long-temps dans les positions les
» plus défavorables à leur durée. J'ai vu des portes d'écluses qui
» étaient encore fort bonnes, quoiqu'elles fussent très-ancienne-
» ment construites. Il n'est pas douteux que les membres des
» vaisseaux doivent pourrir promptement. 1° Parce qu'ils sont
» renfermés entre le bordage et le vaigrage; 2° parce qu'en bien
» des endroits les pièces de bois se touchent; 3° parce que ces
» membres sont toujours dans un lieu chaud et humide. Cepen-
» dant j'ai visité des vaisseaux construits avec d'excellens bois de
» Provence, dont les membres étaient encore très-sains, quoi-
» qu'ils eussent cinquante ans de construction. On a vu des vais-
» seaux mal entretenus et dans lesquels l'eau de la pluie perçait
» jusqu'à la cale, qui ont cependant subsisté très-long-temps
» sans pourrir, ce qui ne peut dépendre que de l'excellente qua-
» lité de leur bois; et si on ne peut pas fixer à dix ans la durée

» de la plupart des vaisseaux que l'on construit maintenant, on » ne doit pas l'attribuer à la négligence des officiers qui veillent » à la construction ou à l'entretien de ces bâtimens, mais à la » mauvaise qualité des gros bois qu'on est forcé d'employer au- » jourd'hui, comme je l'ai prouvé dans mon *Traité de l'exploita-* » *tion des bois;* et c'est un inconvénient auquel on n'a pas encore » pu trouver de remède.

» 11° Le bois pourri endommage celui qui se trouve dans son » voisinage; comme c'est une espèce de levain qui excite la fer- » mentation, il faut y remédier, en retranchant ce mauvais bois » le plutôt qu'il est possible. »

Dans la construction des édifices, les bois ont trois expositions différentes, dit Hassenfratz, la première, comme dans les barrières, les ponts, les bois sont exposés à toutes les variations de l'atmosphère, à la pluie, au vent, à la sécheresse; la seconde, comme dans les combles, les planchers, l'intérieur des édifices, les bois sont préservés de l'action des eaux pluviales, et ont un contact continuel avec l'air qui y pénètre; la troisième, comme dans les planchers, plafonds, les pans des bois, les cloisons recouvertes, les bois sont entourrés de mortier.

Dans la première exposition, les bois se corrompent promptement, lorsqu'on n'a pas l'attention de les peindre ou de les goudronner, parce qu'étant alternativement mouillés et séchés, l'eau séjourne assez long-temps pour y fermenter; elle y est dans la disposition la plus favorable à la corruption.

Non-seulement on peint et on goudronne les bois pour les préserver de l'action des eaux pluviales, mais on pousse dans quelques endroits cette précaution si loin que l'on applique à la surface goudronnée un ciment gras et résineux que l'on saupoudre de sable fin, de manière à former une couche pierreuse autour de chaque bois et qui empêche l'eau de pénétrer. Ces enduits se

mettent particulièrement sur les pièces des ponts que l'on recouvre de sable, de terre et que l'on pave, conséquemment qui sont exposés à l'action de l'eau qui les pénètre.

Il est imprudent de peindre ou de goudronner des bois humides, parce que la peinture ou le goudron empêche l'humidité de s'évaporer, que l'eau reste, dissout des substances végétales, fermente et pourrit les bois; les bois secs au contraire se conservent beaucoup mieux lorsqu'ils sont peints ou goudronnés, parce que ces substances sont autant d'obstacles à l'hygrométricité du bois, en empêchant l'eau d'entrer dans l'intérieur, elles s'opposent à la fermentation qui en serait la suite. Les bois secs, peints ou goudronnés ne jouissent que de leur propriété thermométrique,

La seconde exposition est la plus favorable pour conserver les bois, surtout si dans les combles la couverture est entretenue avec soin; si les eaux pluviales ne pénètrent pas jusqu'aux bois, et si l'on a la précaution de ne point laisser tomber de l'eau sur les planchers; cependant, dans des lieux humides et chauds tels que les écuries, les étables peu aérées, les bois sont sujets à se corrompre à cause de l'évaporation continuelle que la chaleur produit, de l'humidité dont les bois sont constamment pénétrés, et de la température qui favorise la fermentation. En aérant les écuries et les étables, on procurera deux avantages; le premier, de tenir les animaux dans une atmosphère plus saine; le second, de détruire l'action corruptible des bois.

Dans la troisième exposition, les bois se corrompent plus ou moins facilement, en raison du degré de sécheresse qu'ils avaient lorsqu'ils ont été employés, de l'humidité et de l'hygrométricité plus ou moins grandes des matières qui les enveloppent. Pour empêcher l'effet de cette humidité et favoriser le dessèchement des poutres, on perce dans le mur différentes ouvertures qui permettent à l'air de circuler librement entre chaque morceau de bois.

TABLES

DES EXPÉRIENCES SUR LA FORCE DU BOIS,

PAR M. DE BUFFON.

PREMIÈRE TABLE.

QUATRE POUCES D'ÉQUARRISSAGE.

LONGUEUR DES PIÈCES.			POIDS des PIÈCES.	CHARGES.	TEMPS employé à charger les PIÈCES.		FLÈCHES DE LA COURBURE DES PIÈCES dans l'instant où elles commencent à rompre.			
Pieds.	Mèt.	Milli.	Livres.	Livres.	Heur.	Min.	Pouc.	Lig.	Mèt.	Milli.
7	2,	274	60	5350	0	29	3	6	0,	095
			56	5275	0	22	4	6	0,	122
8	2,	599	68	4600	0	15	3	9	0,	101
			63	4500	0	13	4	8	0,	126
9	2,	924	77	4100	0	14	4	10	0,	131
			71	3950	0	12	5	6	0,	149
10	3,	248	84	3625	0	15	5	10	0,	158
			82	3600	0	15	6	6	0,	176
12	3,	898	100	3050	0	»	7	»	0,	189
			90	2925	0	»	8	»	0,	217

DEUXIÈME TABLE.

CINQ POUCES D'ÉQUARRISSAGE.

LONGUEUR des PIÈCES.	POIDS des PIÈCES.	CHARGES.	TEMPS depuis le premier éclat jusqu'à l'instant de la rupture.		FLÈCHE de la courbure AVANT D'ÉCLATER.			
Pieds.	Livres.	Livres.	Heur.	Min.	Pouc.	Lig.	Mèt.	Milli.
7	94	11775	0	58	2	6	0,	068
	88 ½	11275	0	59	2	6	0,	068
8	104	9900	0	40	2	8	0,	072
	102	9675	0	39	2	11	0,	079
9	118	8400	0	28	3	»	0,	081
	116	8325	0	28	3	3	0,	088
	115	8200	0	26	3	6	0,	095
10	132	7225	0	21	3	2	0,	086
	130	7050	0	20	3	6	0,	068
	128 ½	7100	0	18	4	»	0,	108
12	156	6050	0	30	5	6	0,	149
	154	6100	0	»	5	9	0,	155
14	178	5400	0	21	8	»	0,	217
	176	5200	0	18	8	3	0,	224
16	209	4425	0	17	8	1	0,	219
	205	4275	0	15	8	2	0,	222
18	232	3750	0	11	8	»	0,	217
	231	3650	0	10	8	2	0,	222
20	263	3275	0	10	8	10	0,	240
	259	3175	0	8	10	»	0,	271
22	281	2975	0	18	11	3	0,	305
24	310	2200	0	16	11	»	0,	298
	307	2125	»	15	13	6	0,	352
28	364	1800	0	17	18	»	0,	487
	360	1750	0	17	22	»	0,	596

TROISIÈME TABLE.

SIX POUCES D'ÉQUARRISSAGE.

LONGUEUR des PIÈCES.		POIDS des PIÈCES.	CHARGES.	TEMPS depuis le premier éclat jusqu'à l'instant de la rupture.		FLÈCHE de la courbure AVANT D'ÉCLATER.		
Pieds.	Mèt. Mill.	Livres.	Livres.	Heur.	Min.	Pouc.	Lig.	Mèt. Mill.
7	2, 274	228	19250	1	49	2	»	0, 054
		126 ½	18650	1	38	2	»	0, 054
8	2, 599	149	15700	1	12	2	4	0, 063
		146	15350	1	10	2	5	0, 065
9	2, 924	166	13450	0	56	2	6	0, 067
		164 ½	12850	0	51	2	10	0, 077
10	3, 248	188	11475	0	46	3	»	0, 081
		186	11025	0	44	3	6	0, 095
12	3, 898	224	9200	0	31	4	»	0, 108
		221	9000	0	32	4	1	0, 110
14	4, 548	255	7450	0	25	4	6	0, 122
		254	7500	0	22	4	2	0, 113
16	5, 197	294	6250	0	20	5	6	0, 149
		293	6475	0	19	5	10	0, 158
18	5, 847	334	5625	0	16	7	5	0, 200
		331	5500	0	14	8	6	0, 231
20	6, 497	337	5025	0	21	9	6	0, 258
		375	4875	0	11	8	10	0, 240

QUATRIÈME TABLE.

SEPT POUCES D'ÉQUARRISSAGE.

LONGUEUR des PIÈCES.		POIDS des PIÈCES.	CHARGES.	TEMPS depuis le premier eclat jusqu'à l'instant de la rupture.		FLÈCHE de la courbure AVANT D'ÉCLATER.		
Pieds.	Mèt. Mil.	Livres.	Livres.	Heur.	Min.	Pouc.	Lig.	Mèt. Mill.
7	2, 274	204 ½	26150	2	6	2	9	0, 074
8	2, 599	201 ½	25950	2	13	2	6	0, 068
9	2, 924	227	22800	1	40	3	1	0, 083
		225	21900	1	37	2	11	0, 079
10	3, 248	254	19650	1	13	2	7	0, 070
		252	19300	1	16	3	»	0, 081
12	3, 898	302	16800	1	3	2	11	0, 079
		301	15550	1	»	3	4	0, 090
14	4, 548	351	13600	0	55	4	2	0, 113
		351	12850	0	48	3	9	0, 101
16	5, 197	406	11100	0	41	4	10	0, 131
		403	10900	0	36	5	3	0, 142
18	5, 847	454	9450	0	27	5	6	0, 149
		450	9400	0	22	5	10	0, 158
20	6, 497	505	8550	0	15	7	10	0, 212
		500	8000	0	13	8	6	0, 231

CINQUIÈME TABLE.

HUIT POUCES D'ÉQUARRISSAGE.

LONGUEUR des PIÈCES.		POIDS des PIÈCES.	CHARGES.	TEMPS depuis le premier éclat jusqu'à l'instant de la rupture.		FLÈCHE de la courbure AVANT D'ÉCLATER.		
Pieds.	Mèt. Mil.	Livres.	Livres.	Heur.	Min.	Pouc.	Lig.	Mèt. Mill.
10	3, 248	331	27800	2	50	3	»	0, 081
		330	27700	2	58	2	3	0, 061
12	3, 898	397	23900	1	30	3	»	0, 081
		395 ½	23000	1	23	2	11	0, 079
14	4, 548	461	20050	1	6	3	10	0, 104
		459	19500	1	2	3	2	0, 086
16	5, 197	528	16800	0	47	5	2	0, 140
		524	15950	0	50	3	9	0, 101
18	5, 847	594	13500	0	32	4	6	0, 122
		593	12900	0	30	4	1	0, 110
20	6, 497	664	11775	0	24	6	6	0, 176
		660 ½	11200	0	28	6	»	0, 162

SIXIÈME TABLE.

POUR LES CHARGES MOYENNES DE TOUTES LES EXPÉRIENCES PRÉCÉDENTES.

LONGUEUR des PIÈCES.		GROSSEUR.				
		4 POUC.	5 POUC.	6 POUC.	7 POUC.	8 POUC.
Pieds.	Mèt. Mill.	Livres.	Livres.	Livres.	Livres.	Livres.
7	2, 274	5312	11525	18950	»	»
8	2, 599	4550	9787½	15525	26050	»
9	2, 924	4025	8308½	13150	22350	»
10	3, 248	3612	7125	11250	19475	27750
12	3, 898	2987½	6075	9100	16175	23450
14	4, 548	»	5300	7475	13225	19775
16	5, 197	»	4350	6362½	11000	16375
18	5, 847	»	3700	5562½	9425	13200
20	6, 497	»	3225	4950	8275	11487½
22	7, 146	»	2976	»	»	»
24	7, 796	»	2162½	»	»	»
28	9, 996	»	1775	»	»	»

SEPTIÈME TABLE.

Comparaison de la résistance du bois trouvée par les expériences précédentes ; et de la résistance du bois, suivant la règle que cette résistance est comme la largeur de la pièce multipliée par le carré de sa hauteur, en supposant la même longueur.

PIEDS.	MÈTRES	GROSSEUR.				
		4 pouces.	5 pouces.	6 pouces.	7 pouces.	8 pouces.
Pieds.	Mèt. Milli.	Livres.	Livres.	Livres.	Livres.	Livres.
7	2, 274	5312	11525	18950	32200	47649 $\frac{1}{5}$
		5901		19915 $\frac{2}{5}$	31624 $\frac{3}{5}$	47198 $\frac{1}{5}$
8	2, 599	4550	9787 $\frac{1}{2}$	15525	26050	39750
		5011 $\frac{1}{6}$		16912 $\frac{4}{5}$	26856 $\frac{9}{10}$	40089 $\frac{3}{5}$
9	2, 924	4025	8308 $\frac{1}{2}$	13150	22350	32800
		4253 $\frac{13}{15}$		14356 $\frac{4}{5}$	22798 $\frac{1}{5}$	34031
10	3, 248	3612	7125	11250	19475	27750
		3648		12312	19551	29184
12	3, 898	2987 $\frac{1}{2}$	6075	9100	16175	23450
		3110 $\frac{2}{6}$		10497 $\frac{3}{5}$	16669 $\frac{4}{5}$	24883 $\frac{1}{5}$
14	4, 548	»	5100	7475	13225	19775
				8812 $\frac{4}{15}$	13995 $\frac{1}{5}$	20889 $\frac{3}{5}$
16	5, 197	»	4350	6362	11000	16375
				7516 $\frac{1}{2}$	11936 $\frac{2}{5}$	17817 $\frac{3}{5}$
18	5, 847	»	3700	5562 $\frac{1}{2}$	9425	13200
				6393 $\frac{2}{5}$	10152 $\frac{4}{5}$	15155 $\frac{1}{5}$
20	6, 497	»	3225	4950	8275	12487 $\frac{1}{2}$
				5572 $\frac{4}{5}$	8849 $\frac{2}{5}$	13209 $\frac{1}{5}$

Nous ne terminerons pas cet article sur les bois, sans donner l'indication de quelques résultats de l'expérience et de la théorie, dont la réunion est si précieuse dans une semblable matière.

DÉSIGNATION des bois de construction.	LIMITES des grandeurs	LIMITES des hauteur du tronc.	Diamètre moyen du tronc en centimètres.	FORCE primitive, hori-zont.le	FORCE primitive, verti.le	FORCE absolue.	POIDS d'un pied cube en livres.	TERRAIN qui leur convient.
	m m	m m						
Alisier	15 à 40	5 à 15	72	1142	1468	2104	61 ½	Fort, argileux.
Aune	15 à 40	5 à 15	75	644	780	2080	46	Humide, marécageux.
Bouleau	15 à 40	5 à 15	81	853	861	1980	49 ¼	Mauvais, pierreux.
Charme	8 à 15	3 à 7	54	1034	1022	2189	53 ¼	Froid, aride.
Chataignier	5 à 40	4 à 15	72	957	950	1944	48	Toute terre, mieux vaut un bon terrain.
Chêne commun	5 à 40	5 à 15	81	1000	807	1821	63 ⅓	
Erable commun	8 à 15	3 à 7	72	1094	843	2094	44	Toute terre maigre qui a du fond, sans être glaiseuse.
Frêne commun	15 à 40	4 à 15	60	1072	1112	1800	55	Terre humide.
Hêtre	15 à 40	5 à 15	72	1032	986	2480	50 ½	Gras, humide.
Mélèze	15 à 40	8 à 30	90	843	902	1460	46	Froid, dur, élevé.
Merisier	8 à 15	4 à 7		916	932	1580	50	Sableux, frais.
Noyer	8 15	2 à 5	92	900	753	1120	47 ½	Toute terre, mieux vaut profonde, riche, grasse.
Orme	15 à 40	5 à 15	80	1077	1075	1980	51 ⅔	Marneux, frais, un peu sec.
Peuplier	15 à 40	6 à 20	81	586	680	940	29	Gras, humide, marécageux.
Pin	15 à 40	5 à 15	87	882	804	1041	43	Sableux, montueux, sec.
Poirier	10 à 18	3 à 7	36	850	816	1680	50	Toute terre bonne, fraîche, bonne terre.
Sapin	15 à 40	8 à 30	120	918	851	1250	38	Sableux, sec, marneux, élevé.
Tilleul	15 à 40	5 à 15	66	750	717	1407	39 ½	Humide, marécageux, marneux, sableux.
Tremble	15 à 40	5 à 15		624	717	1293		Gras, humide.

Application de cette table pour connaître la force des bois.

Si l'on veut connaître la force d'une solive en bois de sapin de 18 pieds de long sur 8 pouces d'équarrissage, on cherchera dans la septième table celle d'une solive en bois de chêne, de même dimension, qu'on trouvera de 13,200 ; ayant vu ensuite, dans cette dernière table, que la force primitive du chêne posé horizontalement est à celle du sapin comme 1000 est à 918, on fera la proportion

1000 : 918 : : 13,200 est à un quatrième terme qu'on trouvera égal à 12,117 qui exprimera la plus grande force de cette solive de sapin, c'est-à-dire, l'effort sous lequel elle se romprait, étant posée horizontalement. En retranchant le dernier chiffre, on aura 1,211 pour la charge qu'on peut lui faire porter sans risque.

Application pour la force verticale.

Nous observerons que d'après les expériences faites par M. Rondelet sur les bois de bout, une pièce en sapin ou en chêne diminue de force dès qu'elle commence à plier, en sorte que la force moyenne du bois de chêne qui est de 44 livres par ligne superficielle pour un cube, se réduit à 2 livres pour une pièce de même bois dont la hauteur est égale à 72 fois la largeur de la base ; et on trouve la progression suivante :

Pour un cube dont la hauteur est 1 la force est . .	1
Pour une pièce dont la hauteur est 12 la force est . .	$\frac{5}{8}$
Pour 24	$\frac{1}{2}$
Pour 36	$\frac{1}{3}$
Pour 48	$\frac{1}{6}$
Pour 60	$\frac{1}{12}$
Pour 72	$\frac{1}{24}$

Cela posé, s'il s'agit de connaître la force verticale d'un poteau de chêne de 9 pouces en carré sur 9 pieds de hauteur, on cher-

chera dans la dernière table la force verticale primitive de cette espèce de bois qu'on trouvera de 807 pour 18 lignes de superficie de base. Mais comme cette force doit diminuer en raison du nombre de fois que la largeur de la base est contenue dans la longueur du poteau, nombre de fois qui est ici 12, on ne prendra que les $\frac{5}{6}$ de 807, d'après la progression ci-dessus, c'est-à-dire, 672 $\frac{1}{2}$ pour l'évaluation de ladite force.

Ce poteau ayant 9 pouces en carré de grosseur, présentera une superficie de 11,644 lignes carrées, laquelle étant divisée par 18 donnera 648, et pour la plus grande charge qu'elle puisse porter avant de se rompre

$648 \times 672 \frac{1}{2} = 435,780$, et 43,578 pour celle qu'on peut lui confier sans risque.

Si ce poteau, au lieu d'être en chêne, était en sapin, dont la force primitive verticale est à celle du chêne comme 851 est à 807, on n'aurait, pour avoir sa plus grande force, qu'à faire la proportion 807 : 435,780 : : 851 est à un quatrième terme, qui donnera pour cette force 459,540, et 45,954 pour la plus grande charge à lui faire soutenir.

Application pour la force absolue.

Relativement à cette force qui est celle avec laquelle le bois résiste étant tiré par les deux bouts, il suffit de multiplier la surface en lignes de la grosseur du bois par 1,821, si c'est du bois de chêne, et de diviser le produit par 18; le quotient indiquera la plus grande force que la pièce puisse soutenir.

Ainsi, pour une pièce en bois de chêne de 9 pouces en carré de grosseur, on aura $\frac{11664 \times 1821}{18}$ qui donnera, après avoir fait les calculs indiqués, 1,180,008; et pour la plus grande charge à lui faire soutenir sans risque, 118,000.

On voit par la table précédente que le hêtre est le bois qui a le plus de force pour résister à cet effort; de sorte qu'une pièce en bois de hêtre, de même dimension que la précédente, aurait une force exprimée par $\frac{11664 \times 2480}{18}$, qui donne 1,607,040 pour la plus grande force, et 160,704 pour la plus grande charge.

Force des bois inclinés.

La force d'une pièce de bois verticale est à celle d'une pièce de bois inclinée, de même longueur et grosseur, comme la longueur de la pièce est au sinus de l'angle que fait la direction de la pièce avec la verticale.

Soit, par exemple, une pièce de bois de chêne de 9 pieds de longueur, et inclinée de 4 pieds 7 pouces 7 lignes (c'est la longueur du sinus de l'angle qu'elle fait avec la verticale) sur 8 à 9 pouces de grosseur, ou de 96 à 108 lignes, produisant une superficie de 10,368 lignes qu'on divisera par 18, ce qui donnera 576 : on cherchera ensuite, dans la dernière table, la force verticale primitive du bois de chêne, qu'on trouvera de 807 ; mais comme la longueur de cette pièce est plus de 12 fois la largeur de sa base, on ne prendra que les $\frac{5}{6}$ de 807, c'est-à-dire, 672 $\frac{1}{2}$, qu'on multipliera par 576, ce qui donnera 387,360, et on fera la proportion :

9 pieds : 4 pieds 7 pouces 7 lignes : : 387,360 est à un quatrième terme qui donnera 96,850 (en négligeant dans la proportion les 7 pouces 7 lignes du 2e terme) pour la plus grande force de cette pièce, et 9,684 pour la charge qu'elle pourrait porter sans risque.

L'expérience prouve, 1° que dès qu'un poteau a 7 ou 8 fois la largeur de sa base en hauteur, il plie sous la charge avant de

s'écraser ou de se refouler, et qu'une pièce de bois dont la hauteur aurait 100 fois le diamètre de sa base, ne peut porter le moindre fardeau sans plier; 2° que lorsqu'une pièce de bois de chêne est trop courte pour pouvoir plier, la force qu'il faut pour l'écraser ou la faire refouler est de 40 à 48 livres par ligne superficielle de sa base, et que cette force pour le bois de sapin va de 48 à 56; 3° que des cubes de chacun de ces bois mis en expérience ont diminué de hauteur, en se refoulant, sans se désunir; ceux en chêne de plus d'un tiers, et ceux de sapin de moitié.

L'expérience prouve encore que dès qu'une pièce de bois commence à plier, elle perd beaucoup de sa force; c'est pourquoi un poteau ne devrait jamais avoir en hauteur plus de 10 fois la largeur ou le diamètre de sa base.

Si l'on calculait la force d'un pareil poteau qui aurait un pied carré ou 20,736 lignes carrées à sa base, à raison de 10 livres par ligne superficielle, c'est-à-dire, au $\frac{1}{4}$ de la charge sous laquelle il s'écraserait, on trouverait qu'il pourrait soutenir un poids de plus de 200 milliers. Mais il est prudent pour un poteau dont la hauteur n'excède pas 10 fois la largeur de sa base, de ne compter sa résistance qu'à raison de 5 livres par ligne carrée; ce qui réduit la charge à porter pour un poteau d'un pied d'équarrissage, à 100 milliers; et celle d'un poteau de 6 pouces en carré, à 25 milliers.

Pour un poteau dont la hauteur serait 15 fois la largeur de la base, il ne faut compter que 4 livres par ligne; et pour 20 fois, 3 livres seulement. Dans les usages ordinaires, les charges sont beaucoup moins considérables, parce qu'il est essentiel que le poteau ait en outre de la force nécessaire pour supporter le fardeau dont on le charge, une stabilité convenable en raison de

sa situation et de son isolement, stabilité qui exige que sa hauteur n'ait pas plus de 7 à 10 fois la largeur de sa base.

M. Rondelet indique les résultats de plusieurs expériences sur la force absolue du bois de chêne ordinaire, dont la pesanteur spécifique était de 861, ou qui pesait 61 livres le pied cube. Il en conclut que cette force absolue est d'environ 102 livres par ligne superficielle de sa grosseur, qu'on peut porter à 96 pour plus de sûreté.

M. Girard, dans son *Traité de la résistance des solides*, explique qu'une pièce de bois de chêne posée de bout, ayant 7 pieds 8 pouces 7 lignes de longueur, 5 pouces 9 lignes de largeur, sur 3 pouces 10 lignes d'épaisseur, s'est rompue sous une charge de 67,663 livres. La base ayant 3,174 lignes carrées, on en déduit pour sa force moyenne 21 livres 32 par ligne carrée, ce qui est d'accord à très-peu près avec la règle de M. Rondelet expliquée plus haut; car, suivant cet auteur, en supposant la pièce de bonne qualité et sans défaut, sa force moyenne serait de 44 livres par ligne carrée, pour un cube de même base; mais comme cette pièce a une hauteur d'environ 22 fois son épaisseur, cette force doit être réduite à moitié, d'après la progression indiquée plus haut, c'est-à-dire, à 22 livres au lieu de 21 liv., 32 trouvée par l'expérience; ce qui s'approche beaucoup; et l'on conçoit que le moindre défaut de qualité ou de position peut avoir produit une pareille différence.

M. Rondelet prétend que, d'après une infinité d'expériences et de calculs faits pour trouver le rapport de la force absolue du bois de chêne à celle qu'il a, étant posé horizontalement sur deux appuis, le moyen le plus simple est de multiplier la surface de la grosseur de la pièce évaluée en lignes carrées, par la moitié de sa force absolue, et de diviser le produit par le nombre de fois que son épaisseur verticale est contenue dans la longueur

comprise entre les appuis. En prenant 96 livres pour cette force absolue, ou 48 pour sa moitié, on obtient, suivant cette règle, des résultats qui s'accordent avec les expériences faites par Bélidor et Parent qui, à la vérité, n'ont expérimenté que sur des pièces de petites dimensions, en indiquant les poids sous lesquels ces pièces se sont rompues.

M. Rondelet a voulu faire l'application de sa règle aux grandes expériences de M. de Buffon, desquelles il résulte que la force des bois de même grosseur, posés horizontalement, ne diminue pas exactement en raison de leur longueur, comme le suppose la règle qu'on vient d'indiquer; alors il a cherché, pour la rendre plus conforme à l'expérience, à y faire quelques modifications qui n'en rendissent pas l'application plus difficile.

Il remarque que la diminution de la force des bois doit être non-seulement proportionnée à leur longueur et grosseur, mais de plus, modifiée en raison de leur force absolue ou primitive, et de leur stabilité. Cette force primitive varie même dans les pièces sorties d'un même tronc d'arbre, d'où il suit qu'il est impossible d'établir une règle qui donne des résultats s'accordant toujours avec l'expérience. Il pense néanmoins qu'en prenant une force primitive moyenne, on obtiendra des résultats assez exacts pour l'usage ordinaire. Enfin il donne la règle suivante qui s'accorde le mieux avec les expériences de M. de Buffon.

Pour avoir la force relative dont il s'agit, il faut :

1° Oter de la force primitive le tiers de la quantité qui exprime le nombre de fois que l'épaisseur verticale est contenue dans la longueur de la pièce entre les appuis ; 2° multiplier le reste par le carré de hauteur de la pièce ; 3° diviser le produit par le nombre qui exprime le rapport de l'épaisseur verticale à la longueur. Ainsi, nommant a la force primitive évaluée en livres, par ligne carrée, b le nombre de fois que l'épaisseur verticale est contenue

dans la longueur de la pièce, et e cette épaisseur verticale exprimée en lignes, on aura pour l'expression de la force F, dont est susceptible une pièce de bois posée horizontalement, l'expression

$$F = e^2 \left(\frac{a}{b} - \frac{1}{3} \right)$$

Telle est la formule trouvée par M. Rondelet d'après un grand nombre d'essais, et qui lui a servi à calculer des tables de résistance. Exemple : soit demandée la résistance d'une solive de 5 pouces en carré sur 18 pieds de longueur entre les appuis.

$$b = \frac{18 \times 12}{5} = 43,2 \qquad e = 5 \times 12 = 60. \qquad a = 59,59$$

Substituant, on trouve $F = 3{,}765\frac{5}{6}$, résultat qui s'approche beaucoup de celui des expériences de M. de Buffon, qui, pour le même cas, est de 3,815.

Il est à remarquer que M. Rondelet, dans ses calculs, a pris diverses valeurs pour a suivant les expériences faites, d'après les différentes grosseurs ; voici ces valeurs pour des pièces dont la longueur varie de 7 à 20 pieds.

ÉQUARRISSAGE EN POUCES.	VALEUR de a	OBSERVATION IMPORTANTE.
4 sur 4	Liv. 55. 68	L'usage, justifié par l'expérience, a fait connaître que pour ne pas compromettre la solidité, il faut que la charge des pièces soit beaucoup moindre que celle qui les écrase, et qu'elle ne doit être qu'environ du dixième de celle indiquée dans les tables ; il faut remarquer que cette charge est supposée réunie au milieu de la partie des solives, et qu'elle équivaut à une charge double, qui serait répartie dans toute la longueur.
5 sur 5	59. 59	
6 sur 6	52. 67	
7 sur 7	53. 57	
8 sur 8	51. 00	

On remarquera que cette dernière règle de M. Rondelet ne peut s'appliquer qu'aux bois carrés, puisque dans la valeur de F, il n'entre nullement la largeur horizontale de la pièce.

M. Navier, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a donné des formules appuyées sur les théories les plus rigoureuses, dans le *Traité des ponts*, par M. Gauthey.

Soit c la distance horizontale entre les points d'appui.
b l'épaisseur verticale de la pièce de chêne.
a l'épaisseur horizontale.

Ces dimensions doivent être prises en mètres.

Appelant Q la limite du poids qui peut faire fléchir une pièce posée verticalement, P le poids dont on peut charger une pièce posée horizontalement; ces deux quantités représentant des kilogrammes, on a

$$Q = (20\,336\,845 + 21\,017\,476.\, b.\, c)\,\frac{ab^2}{c^2}$$

Ainsi, pour les bois de bout, il suffira de rester en-deçà de cette limite, pour être certain de ne point trop charger la pièce.

$$P = (158\,250 + 163\,546.\, bc)\,\frac{ab}{c}$$

L'auteur explique que cette formule n'ayant été obtenue que d'après une seule expérience, elle ne peut passer que pour une première approximation qui aurait besoin d'être vérifiée par de nouvelles expériences.

En appelant f la longueur en mètre de la flèche de courbure que peut prendre une pièce, en vertu d'un poids qui la charge sans danger de rupture, il trouve

$$f = 0,\,0004.\,\frac{c^2}{b}$$

Faisons une application de la valeur de P à une pièce ayant 18 pieds de longueur ($5^m,846$) sur 5 pouces ($0^m,1353$) d'équarrissage.

On a $a = b = 0,1353$ et $c = 5.\,846$.

On pourrait trouver la valeur P par de simples multiplications et une division ; mais comme les nombres sont grands, nous allons employer les logarithmes.

Log. 16 3546 = 5. 213 6400
Log. 0,1353 = $\bar{1}$. 131 2978
Log. 5. 846 = 0. 766 8588

Somme 5. 111 7966 qui correspond à 129 359
158 250

coefficient de $\frac{ab}{c}$ = ... 287 609

Log. 287 609 = 5. 458 8025
Log. 0, 1353 = $\bar{1}$. 131 2978
Log. 0. 1353 = $\bar{1}$. 131 2978

Somme 3. 721 3981
Log. 5. 846 = 0. 766 8588

Différence 2. 954 5393 qui correspond à 901.

ainsi P est donc égal à 901 kilog. ou à 1840 liv. poids de marc. D'après la règle de M. Rondelet indiquée plus haut, et l'expérience de M. de Buffon, on a trouvé 3,815 livres pour le poids qui devait rompre une pareille pièce, et l'on voit que la formule de M. Navier conduit à un résultat qui est un peu moins de moitié, ce qui est encore trop considérable ; c'est-à-dire, que pour être dans une parfaite sécurité, il faudrait regarder le résultat des nouvelles formules comme donnant le double de la limite du poids qu'on peut faire supporter. On conçoit en effet que la formule de M. Navier, pour calculer P, donne un résultat trop fort, puisqu'il l'a déduite d'une expérience faite sur une pièce qui avait plié considérablement sans se rompre, et que, dès l'instant où

une pièce fléchit considérablement, on doit la regarder comme trop chargée.

Nous croyons devoir placer ici le résultat des expériences de M. Lamandé, inspecteur-divisionnaire des ponts et chaussées, sur les bois chargés verticalement. Ces expériences ont été faites sur des barreaux de chêne de champagne assez sec, débités dans de grosses pièces.

ÉQUARRISSAGE des pièces $=a=b$	LONGUEUR des pièces $=c$	1.re FLÈCHE de courbure observée.	POIDS moyen $=Q$ qui a causé la première inflexion.	POIDS moyen qui a causé la rupture.	DURÉE moyenne de l'expérience.
Mètres.	Mètres.	Mètres.	Kilog.mes	Kilog.mes	Heures.
0, 054	0, 649	0, 002	5369	8861	9
0, 054	1, 298	0, 004	2863	5693	18
0, 054	1, 948	0, 005	1325	3559	6
0, 081	0, 649	0, 002	18129	23163	26
0, 081	1, 298	0, 005	9246	16465	15
0, 081	1, 948	0, 004	4793	11619	15
0, 108	0, 649	0, 002	27211	40921	20
0, 108	1, 298	0, 002	21488	40495	13
0, 108	1, 948	0, 005	9663	27629	14

Dans la charpente on emploie deux sortes de bois, le bois de brin et celui de sciage.

Pour former le bois de brin, on ôte les quatre dosses et la flache d'un arbre en l'équarrissant. Le bois de sciage se tire ordinairement des bois courts et trop gros, ou des pièces moins saines.

La grosseur de l'équarrissage se règle d'après la forme du tronc. Quand l'arbre est droit et le tronc circulaire, on obtient le plus grand avantage en donnant la même largeur à chaque face équarrie; car on sait que le plus grand rectangle qu'on puisse inscrire dans un cercle est le carré; tout autre a une surface d'autant moindre que les dimensions diffèrent davantage.

Si l'arbre est droit, et la section elliptique, on prend pour côtés du rectangle d'équarrissage, les deux axes de l'ellipse.

Une lame de scie mue par l'eau fait à peu près le même ouvrage en une heure que trois lames de scie mues par 9 hommes, et comme les scies mues par l'eau vont nuit et jour, elles font donc, chacune en 24 heures, autant de travail que 18 hommes en font ordinairement en travaillant avec des scies à bras.

Trois scieurs de long font ordinairement en une heure un trait de scie de $3^{m}\ 60^{c}$ de longueur sur $0{,}30^{c}$ de largeur, sur du chêne encore vert.

Il existe des scieries à feu et à vapeur qui présentent des avantages sous le rapport de l'économie.

On mesure les bois par cent de solives; le cent de solives fait trois cents pieds cubes, et par conséquent trois pieds cubes font une solive.

Pour mesurer une pièce de bois, en se servant de la méthode des parties aliquotes, on multiplie les deux dimensions de l'équarrissage évaluées en pouces, l'une par l'autre; on regarde ce produit comme des pouces de toise carrée qu'on multiplie en-

suite par la longueur de la pièce évaluée en toises, pieds, etc., pour avoir des solives et parties de solives.

Ainsi, soit une pièce de 7 toises 1 pied de longueur, 8 pouces de largeur et 7 pouces d'épaisseur; multipliant 7 par 8, on a 56 pouces carrés qu'il faut regarder comme des pouces de toise carrée, c'est-à-dire, comme 4 pieds 8 pouces de toise carrée, qui, multipliés par 7 toises 1 pied, donnent 5 solives 3 pieds 5 pouces 4 lignes de solive.

Le plus simple est d'évaluer les 3 dimensions de la pièce de bois qu'on veut mesurer, en mètres et centimètres, de les multiplier les unes par les autres, et de multiplier par 10 le produit obtenu, ce qui se fait par le seul déplacement de la virgule. Le dernier produit indique le nombre de solives *métriques* et de parties décimales de cette espèce de solive que contient la pièce dont on voulait avoir le cube.

Les pilots et les pieux se mesurent autrement que les bois équarris, parce qu'ils ne sont pas également gros aux deux bouts et qu'ils sont ordinairement arrondis : on les mesure au milieu de la pièce, chacun à part, en passant un cordeau tout au tour, qu'on rapporte sur une règle divisée en pieds et pouces, ou métriquement. On voit sur cette règle la circonférence du pilot, que l'on équarrit suivant l'usage ordinaire de la géométrie ; on fait un état en colonnes qui porte le nombre des pilots employés dans l'ouvrage que l'on toise, à mesure qu'on les voit mettre en place.

Voici une table qui peut être fort utile pour calculer le volume des bois ronds avec une grande précision. Ayant mesuré la circonférence moyenne d'une pièce de bois, on cherchera dans la colonne intitulée *cercle*, la surface circulaire correspondante qu'on multipliera par la longueur, et on aura le volume exprimé en mètres cubes.

CIRCONFÉRENCE.	CERCLE.	CIRCONFÉRENCE.	CERCLE.	CIRCONFÉRENCE.	CERCLE.	CIRCONFÉRENCE.	CERCLE.
m	m	m	m	m	m	m	m
0, 30	0, 00765	0, 62	0, 03060	0, 94	0, 07031	1, 26	0, 12633
0, 31	0, 00765	0, 63	0, 03159	0, 95	0, 07181	1, 27	0, 12835
0, 32	0, 00815	0, 64	0, 03260	0, 96	0, 07333	1, 28	0, 13038
0, 33	0, 00867	0, 65	0, 03362	0, 97	0, 07488	1, 29	0, 13242
0, 34	0, 00920	0, 66	0, 03467	0, 98	0, 07642	1, 30	0, 13449
0, 35	0, 00974	0, 67	0, 03572	0, 99	0, 07799	1, 31	0, 13657
0, 36	0, 01031	0, 68	0, 03680	1, 00	0, 07958	1, 32	0, 13865
0, 37	0, 01090	0, 69	0, 03789	1, 01	0, 08118	1, 33	0, 14077
0, 38	0, 01150	0, 70	0, 03899	1, 02	0, 08280	1, 34	0, 14289
0, 39	0, 01210	0, 71	0, 04011	1, 03	0, 08442	1, 35	0, 14502
0, 40	0, 01273	0, 72	0, 04125	1, 04	0, 08608	1, 36	0, 14719
0, 41	0, 01338	0, 73	0, 04240	1, 05	0, 08773	1, 37	0, 14935
0, 42	0, 01403	0, 74	0, 04358	1, 06	0, 08941	1, 38	0, 15154
0, 43	0, 01471	0, 75	0, 04477	1, 07	0, 09110	1, 39	0, 15375
0, 44	0, 01540	0, 76	0, 04597	1, 08	0, 09281	1, 40	0, 15598
0, 45	0, 01611	0, 77	0, 04719	1, 09	0, 09454	1, 41	0, 15820
0, 46	0, 01683	0, 78	0, 04841	1, 10	0, 09629	1, 42	0, 16047
0, 47	0, 01758	0, 79	0, 04967	1, 11	0, 09804	1, 43	0, 16272
0, 48	0, 01833	0, 80	0, 05093	1, 12	0, 09982	1, 44	0, 16501
0, 49	0, 01910	0, 81	0, 05221	1, 13	0, 10161	1, 45	0, 16731
0, 50	0, 01990	0, 82	0, 05350	1, 14	0, 10341	1, 46	0, 16962
0, 51	0, 02070	0, 83	0, 05482	1, 15	0, 10524	1, 47	0, 17195
0, 52	0, 02151	0, 84	0, 05615	1, 16	0, 10708	1, 48	0, 17430
0, 53	0, 02235	0, 85	0, 05750	1, 17	0, 10893	1, 49	0, 17667
0, 54	0, 02320	0, 86	0, 05885	1, 18	0, 11080	1, 50	0, 17894
0, 55	0, 02408	0, 87	0, 06023	1, 19	0, 11269	1, 51	0, 18144
0, 56	0, 02495	0, 88	0, 06162	1, 20	0, 11460	1, 52	0, 18385
0, 57	0, 02585	0, 89	0, 06303	1, 21	0, 11650	1, 53	0, 18629
0, 58	0, 02678	0, 90	0, 06445	1, 22	0, 11844	1, 54	0, 18872
0, 59	0, 02770	0, 91	0, 06590	1, 23	0, 12040	1, 55	0, 19119
0, 60	0, 02864	0, 92	0, 06735	1, 24	0, 12235	1, 56	0, 19365
0, 61	0, 02961	0, 93	0, 06882	1, 25	0, 12433	1, 57	0, 19615

Nous avons vu, par les expériences, que la résistance des pièces de bois posées horizontalement et chargées dans leur milieu, se fait dans la raison composée de la raison directe du carré de leur hauteur par leur largeur, et de la raison inverse de leur longueur ; mais quelques causes physiques peuvent faire varier cette règle : cela dépend souvent de la qualité des bois et de la disposition de leurs fibres.

Il suit de ce principe qu'il est avantageux de placer les plus grandes dimensions de la grosseur des pièces dans le sens vertical. Ainsi, une pièce qui aurait pour hauteur le double de sa largeur, serait plus forte du double étant posée de champ, que si la plus grande face se trouvait placée horizontalement ; ce qui, pour une force égale, donnerait, dans la première situation de la solive, une diminution de la moitié sur la quantité du bois : cette diminution serait du triple, du quadruple, etc., pour des pièces dont les hauteurs seraient aussi triples et quadruples de leur largeur. On conçoit dès-lors combien il est avantageux de donner de pareilles proportions aux solives, en les plaçant de champ ; mais cet avantage a ses bornes, et cette manière d'opérer a ses inconvéniens, ainsi qu'on va le faire connaître.

Les différentes pièces de bois de brin, de droit fil, et saines, provenant d'une seule pièce qui aurait été refendue, dans le sens de ses fibres, par tranches parallèles d'égale ou d'inégale grosseur, n'auront pas toutes ensemble plus de force que n'en aurait eu la première pièce, en les supposant toutes placées horizontalement et de même sens. Par exemple, trois solives, chacune de six pouces de hauteur et de deux pouces d'épaisseur, mises de champ, n'auraient pas ensemble plus de force pour porter, que la seule solive de six pouces en carré. La force de chacune de ces petites solives sera, en proportion de son épaisseur, le tiers de la force totale.

Les bois sont rarement de droit fil ; le sciage en tranche ordinairement les fibres plus ou moins, les affaiblit nécessairement, et cet inconvénient aura lieu surtout lorsque les pièces seront sciées de deux sens. Des solives trop minces et d'une trop grande longueur pourraient aussi se voiler, en s'écartant vers le milieu de la situation verticale. On allègue en faveur des pièces ainsi refendues qu'elles sont plus aisées à sécher, et que l'on en connaît mieux les vices intérieurs du bois ; mais aussi les vices qu'on laisserait subsister seraient plus dangereux pour la solidité.

On ne peut donc pas partir d'un calcul certain : c'est pourquoi, malgré l'avantage qu'il y aurait de réformer l'abus d'employer de trop gros bois dans la charpente des ponts, des portes d'écluses, etc. ; on doit être assez circonspect pour ne pas tomber dans un autre extrême, en employant des bois de sciage réduits à une trop faible épaisseur ; il faut toujours avoir égard aux vices qui se rencontrent dans le bois.

Enfin, nous terminerons par l'extrait suivant des tables de la résistance des bois couchés horizontalement; l'une est un abrégé d'une grande table faite par M. Rondelet, et elle suffira particulièrement à ceux qui font toujours usage des anciennes mesures. L'autre est calculée d'après les nouvelles, et a été extraite de l'ouvrage de M. Hassenfratz, *Traité de l'art du charpentier.*

TABLE indiquant la plus grande force des bois posés horizontalement, en raison de leurs dimensions en pieds de Paris et pieds métriques. Ainsi, les nombres qui expriment les longueurs, sont des pieds de roi; et ceux qui marquent la force sont des livres poids de marc.

(Quoique ces tables ne soient calculées que pour le bois de chêne, on peut en faire usage pour toutes sortes de bois, en connaissant sa force primitive et son rapport avec celle du bois de chêne. On se servira, à cet égard, de la table générale qui indique la force absolue des diverses espèces de bois de construction, dont nous avons déjà donné des applications.)

3 pces. sur 3 pces.

LONGUEUR. pieds.	pces.	FORCE. Livres.
1	6	11338
2	0	8396
3	0	5455
4	0	3982
5	0	3099
6	0	2510
7	0	2090

4 pces. sur 4 pces.

LONGUEUR. pieds.	pces.	FORCE. Livres.
2	0.	20156
3	0	13181
4	0	9694
5	0	7601
6	0	6206
7	0	5210
8	0	4463
9	0	3881
10	0	3413

5 pces sur 5 pces.

LONGUEUR. pieds.	pces.	FORCE. Livres.
3	4	23323
4	2	18417
5	0	15147
6	3	11877
7	1	10340
8	4	8609
9	2	7717
10	0	6973
11	3	6065
12	1	5565

6 pces sur 6 pces.

LONGUEUR. pieds.	pce.	FORCE. Livres.
3	0	45351
4	0	33585
5	0	26521
6	0	21811
7	0	18451
8	0	15927
9	0	13965
10	0	12397
11	0	11112
12	0	10041
13	0	9127
14	0	8361
15	0	7897

7 pces sur 7 pces.

LONGUEUR. pieds.	pces.	FORCE. Livres.
3	6	61728
4	1	52721
5	3	40357
6	5	31786
7	0	29621
8	2	25114
9	4	21679
10	6	19009
11	1	17889
12	3	15956
13	5	14370
14	0	13668
15	2	12441
16	4	11701
17	6	10130

LONGUEUR.		FORCE.
8 p^ces sur 8 p^ces.		
pieds.	p^ces.	Livres.
4	0	80624
5	4	59708
6	0	52725
7	4	42586
8	0	38776
9	4	32802
10	0	30406
11	4	26171
12	0	24826
13	4	22040
14	0	20841
15	4	18764
16	0	17852
17	4	16245
18	0	15527
19	4	14246
20	0	13667
9 p^ces sur 9 p^ces.		
4	6	102040
5	3	86913
6	0	75568
7	6	59673
8	3	53898
9	0	49076
10	6	41715
11	3	38483
12	0	35837
13	6	31421
14	3	29565
15	0	27894
16	6	25003
17	3	23748
18	0	22594
19	6	20560
20	3	19654
21	0	18812
22	6	17397
9 p^ces sur 10 p^ces.		
5	0	113368
6	8	83964
8	4	66303
10	0	54529
11	8	46128
13	4	39819
15	0	34912
16	8	30993
18	4	27781
20	0	25104
21	8	22844
23	4	20902
25	0	19219
9 p^ces sur 11 p^ces.		
5	6	124716
7	4	92361
9	2	72933
11	0	59982
12	10	50741
14	8	43801
16	6	38404
18	4	34093
20	2	30559
22	0	27615
23	10	25128
25	8	22982
27	6	21141
9 p^ces sur 12 p^ces.		
6	0	136054
8	0	100757
10	0	79564
12	0	65435
14	0	55354
16	0	47783
18	0	41895
20	0	37192
22	0	33337
24	0	30125
26	0	27413
28	0	25083
30	0	23063
9 p^ces sur 13 p^ces.		
6	6	147391
8	8	109116
10	10	86194

LONGUEUR.		FORCE.
9 p^{ces} sur 13 p^{ces}.		
pieds.	p^{ces}.	Livres.
13	0	70887
15	2	59966
17	4	51765
19	6	45386
9 p^{ces} sur 14 p^{ces}.		
7	0	158729
9	4	117550
11	8	92824
14	0	76340
16	4	64579
18	8	55747
21	0	48877
9 p^{ces} sur 15 p^{ces}		
7	6	170067
10	0	125947
12	6	99455
15	0	81793
17	6	69192
20	0	59729
22	6	52369
9 p^{ces} sur 16 p^{ces}.		
pieds.	p^{ces}.	Livres.
8	0	181405
10	8	134343
13	4	106085
16	0	87246
18	8	73805
21	4	63711
23	6	55860
9 p^{ces} sur 17 p^{ces}.		
8	6	192743
11	4	142739
14	2	112715
17	0	92699
19	10	78418
22	8	67693
25	6	59351
9 p^{ces} sur 18 p^{ces}.		
9	0	204081
12	0	151136
15	0	119346
pieds.	p^{ces}.	Livres.
18	0	98152
21	0	83031
24	0	71673
27	0	62843
10 p^{ces} sur 10 p^{ces}.		
5	0	125976
6	8	93294
8	4	73670
10	0	60588
11	8	51253
13	4	44244
15	0	38792
16	8	34437
18	4	30868
20	0	27894
21	8	25382
23	4	23225
25	0	21353
10 p^{ces} sur 11 p^{ces}		
5	6	138573
7	4	102623
pieds.	p^{ces}.	Livres.
9	2	81037
11	0	66646
12	10	56379
14	8	48668
16	6	42671
18	4	37881
20	2	33953
22	0	30683
23	10	27921
25	8	25547
27	6	23490
10 p^{ces} sur 12 p^{ces}.		
6	0	151171
8	0	111952
10	0	88404
12	0	72703
14	0	61504
16	0	53093
18	0	46550
20	0	41323
22	0	37042
24	0	33473
26	0	30459

LONGUEUR.		FORCE.
10 pces sur 12 pces.		
pieds.	pces.	Livres.
28	0	27870
30	0	25626
10 pces sur 13 pces.		
6	6	163768
8	8	121282
10	10	95791
13	0	78764
15	2	66701
17	4	57517
19	6	50429
10 pces sur 14 pces.		
7	0	176366
9	4	130611
11	8	103138
14	0	84823
16	4	71755
18	8	61941
21	0	54308
10 pces sur 15 pces.		
pieds.	pces.	Livres.
7	6	188964
10	0	139941
12	6	110505
15	0	90882
17	6	76880
20	0	66366
22	6	58186
10 pces sur 16 pces.		
8	0	201561
10	8	149270
13	4	117872
16	0	96931
18	8	82006
21	4	70790
24	0	62067
10 pces sur 17 pces.		
8	6	214159
11	4	158599
14	2	125239
17	0	102999
pieds.	pces.	Livres.
19	10	87131
22	8	75214
25	6	65946
10 pces sur 18 pces.		
9	0	226756
12	0	167929
15	0	132606
18	0	109058
21	0	92256
24	0	79639
27	0	69825
10 pces sur 19 pces.		
9	6	239187
12	8	177258
15	10	139973
19	0	114275
22	2	97382
25	4	84063
28	6	73705
10 pces sur 20 pces.		
10	0	251952
pieds.	pces.	Livres.
13	4	186588
17	6	147341
20	0	121176
23	4	102507
26	6	88488
30	0	77584
11 pces sur 11 pces.		
5	6	152431
7	4	112885
9	2	89141
11	0	73309
12	10	62017
14	8	53535
16	6	46938
18	4	41669
20	2	37350
22	0	33710
23	10	30636
25	8	28102
27	6	25839
11 pces sur 12 pces.		
6	0	166288

LONGUEUR. pieds.	LONGUEUR. p^{ces}.	FORCE. Livres.
11 p^{ces} sur 12 p^{ces}.		
8	0	123148
10	0	97244
12	0	79976
14	0	67655
16	0	58402
18	0	51205
20	0	45457
22	0	40746
24	0	36820
26	0	33505
28	0	30657
30	0	28188
11 p^{ces} sur 13 p^{ces}.		
6	6	180145
8	8	133410
10	10	105348
13	0	86641
15	2	73292
17	4	63267
19	6	55472
11 p^{ces} sur 14 p^{ces}.		
7	0	194003
9	4	143672
11	8	113452
14	0	93305
18	8	68135
21	0	59739
11 p^{ces} sur 15 p^{ces}.		
7	6	207860
10	0	153935
12	6	121556
15	0	99970
17	6	84568
20	0	73002
22	6	64006
11 p^{ces} sur 16 p^{ces}.		
8	0	221717
10	8	164197
13	4	129659
16	0	106634
18	8	90206
21	4	77869
24	0	68273
11 p^{ces} sur 17 p^{ces}.		
8	6	235575
11	4	174459
14	2	137763
17	0	113299
19	10	95844
22	8	82736
25	6	72541
11 p^{ces} sur 18 p^{ces}.		
9	0	249432
11	0	184722
15	0	145867
18	0	119964
21	0	101482
24	0	87603
27	0	76250
11 p^{ces} sur 19 p^{ces}.		
9	6	263289
12	8	194984
15	10	153971
19	0	126629
22	2	107120
25	4	92469
28	6	81075
11 p^{ces} sur 20 p^{ces}.		
10	0	277147
13	4	205246
16	8	162074
20	0	133293
23	4	112758
26	8	97336
30	0	85342
11 p^{ces} sur 21 p^{ces}.		
10	6	291004
14	0	215509
17	6	170178
21	0	139958
24	6	118396
28	0	102205
31	6	89609

LONGUEUR. pieds.	LONGUEUR. p^ces.	FORCE. Livres.
11 p^ces sur 22 p^ces.		
11	0	304861
14	8	225771
18	4	178282
22	0	146623
25	8	124034
29	4	107070
33	0	93876
12 p^ces sur 12 p^ces.		
6	0	181406
8	0	134343
10	0	106085
12	0	83913
14	0	73805
16	0	63711
18	0	55860
20	0	49590
22	0	44450
24	0	40167
26	0	36551
28	0	33444
30	0	30751
12 p^ces sur 13 p^ces.		
6	6	196522
8	8	145538
10	10	114925
13	0	94517
15	2	79955
17	4	69020
19	6	60515
12 p^ces sur 14 p^ces.		
7	0	211639
9	4	156734
11	8	123766
14	0	101787
16	4	86106
18	0	74329
20	0	65170
12 p^ces sur 15 p^ces.		
7	6	226755
10	0	167929
12	6	132606
15	0	109058
17	6	92256
20	0	79639
22	6	69825
12 p^ces sur 16 p^ces.		
8	0	241873
10	8	179124
13	4	141447
16	0	116328
18	8	98407
21	4	84948
24	0	70591
12 p^ces sur 17 p^ces.		
8	6	256991
11	4	190319
14	2	150287
17	0	123599
19	10	104557
22	8	90258
25	6	79131
12 p^ces sur 18 p^ces.		
9	0	272108
12	0	201512
15	0	159727
18	0	130870
21	0	110708
24	0	95567
27	0	83291
12 p^ces sur 19 p^ces.		
9	6	287225
12	8	212710
15	10	167968
19	0	138140
22	2	116858
25	4	100876
28	6	88445
12 p^ces sur 20 p^ces.		
10	0	302342
13	4	223905
16	8	176808
20	0	145411
23	4	124437
26	8	105185
30	0	93101

12 p^ces^ sur 21 p^ces^.

LONGUEUR. pieds.	p^ces^.	FORCE. Livres.
10	6	317459
14	0	235201
17	6	185649
21	0	152681
24	6	129159
28	0	111494
31	6	98755

12 p^ces^ sur 22 p^ces^.

LONGUEUR. pieds.	p^ces^.	FORCE. Livres.
11	0	332576
14	8	246171
18	4	194489
22	0	159950
25	8	135309
29	4	116804
33	0	102411

12 p^ces^ sur 23 p^ces^.

LONGUEUR. pieds.	p^ces^.	FORCE. Livres.
11	6	347693
15	4	257491
19	2	203330
23	0	167223
26	10	141460
30	8	122113
34	6	107066

12 p^ces^ sur 24 p^ces^.

LONGUEUR. pieds.	p^ces^.	FORCE. Livres.
12	0	362811
16	0	268686
20	0	212170
24	0	174493
28	0	147610
30	0	136836
34	0	119115
36	0	112721

13 p^ces^ sur 13 p^ces^.

LONGUEUR. pieds.	p^ces^.	FORCE. Livres.
6	6	212897
8	8	157666
10	10	124303
13	0	102393
15	2	86618
17	4	74772
19	6	65558

13 p^ces^ sur 14 p^ces^.

LONGUEUR. pieds.	p^ces^.	FORCE. Livres.
7	0	229276
9	4	169795
11	8	134080
14	0	110270
16	4	93346
18	8	80524
21	0	70601

13 p^ces^ sur 15 p^ces^.

LONGUEUR. pieds.	p^ces^.	FORCE. Livres.
7	6	245653
10	0	181923
12	6	143357
15	0	118146
17	6	99944
20	0	86275
22	6	75699

13 p^ces^ sur 16 p^ces^.

LONGUEUR. pieds.	p^ces^.	FORCE. Livres.
8	0	262030
10	8	194051
13	4	152246
16	0	126068
18	8	105893
21	4	92033
24	0	85131

13 p^ces^ sur 17 p^ces^.

LONGUEUR. pieds.	p^ces^.	FORCE. Livres.
8	6	288406
11	4	206179
14	2	162811
17	0	133899
19	10	113270
22	8	97779
25	6	85730

13 p^ces^ sur 18 p^ces^.

LONGUEUR. pieds.	p^ces^.	FORCE. Livres.
9	0	294784
12	0	218307
15	0	172388
18	0	141773
21	0	119933
24	0	103531
27	0	90773

13 p^ces^ sur 19 p^ces^.

LONGUEUR. pieds.	p^ces^.	FORCE. Livres.
9	6	311160

LONGUEUR.		FORCE.
pieds.	p^{ces}.	Livres.
12	8	230436
15	10	181965
19	0	149652
22	2	126596
25	4	109283
28	6	95816
13 p^{ces} sur 20 p^{ces}.		
10	0	327371
13	4	242564
16	8	190307
20	0	157528
23	4	133259
26	8	115034
30	0	100881
13 p^{ces} sur 21 p^{ces}.		
10	6	343914
14	0	253692
17	6	201720
21	0	165405
24	6	139922
28	0	120786
31	6	105902
13 p^{ces} sur 22 p^{ces}.		
pieds.	p^{ces}.	Livres.
11	0	360291
14	8	266821
18	4	210697
22	0	173281
25	8	146585
29	4	126537
33	0	110945
13 p^{ces} sur 23 p^{ces}.		
11	0	376668
15	4	278949
19	2	220274
23	0	181158
26	10	153248
30	8	132289
34	6	115988
14 p^{ces} sur 14 p^{ces}.		
7	0	246913
9	4	182856
11	8	144393
14	0	118752
pieds.	p^{ces}.	Livres.
16	4	100457
18	8	86718
21	0	76032
14 p^{ces} sur 15 p^{ces}.		
7	6	264549
10	0	195917
12	6	154707
15	0	127234
17	6	107632
20	0	92912
22	6	81463
14 p^{ces} sur 16 p^{ces}.		
8	0	282186
11	4	208978
14	2	165021
17	0	135717
19	10	114808
22	8	99106
25	6	86894
14 p^{ces} sur 17 p^{ces}.		
8	6	299822
pieds.	p^{ces}.	Livres.
11	4	222039
14	2	175335
17	0	144199
19	10	121983
22	8	105337
25	6	92325
15 p^{ces} sur 15 p^{ces}.		
7	6	283446
10	0	209911
12	6	165758
15	0	136323
17	6	115321
20	0	99549
22	6	87282
15 p^{ces} sur 16 p^{ces}.		
8	0	302342
10	8	223905
13	4	176808
16	0	145411
18	8	123008
21	4	106185
24	0	94100

LONGUEUR. — FORCE.

15 pces sur 17 pces

pieds.	pces.	Livres.
8	6	321255
11	4	237899
14	2	187859
17	0	154499
19	10	130697
22	8	112822
25	6	98919

15 pces sur 18 pces.

pieds.	pces.	Livres.
9	0	340135
12	0	251893
15	0	198910
18	0	163504
21	0	138385
24	0	119458
27	0	104738

16 pces sur 16 pces.

pieds.	pces.	Livres.
8	0	322496
10	8	238832
13	4	188596
16	0	155105
18	8	131209
21	4	113858
24	0	99307

16 pces sur 17 pces.

pieds.	pces.	Livres.
8	4	342654
11	4	253359
14	2	200383
17	0	163799
19	10	139410
22	8	120343
25	6	105513

16 pces sur 18 pces.

pieds.	pces.	Livres.
9	0	362811
12	0	268686
15	0	212170
18	0	174493
21	0	147610
24	0	127423
27	0	111721

16 pces sur 19 pces.

pieds.	pces.	Livres.
9	6	382967
12	8	283613
15	10	223958
19	0	184187
22	2	155811
25	4	134501
28	6	117927

17 pces sur 17 pces.

pieds.	pces.	Livres.
8	4	364070
11	4	269607
14	2	212877
17	0	175099
19	10	148123
22	8	127865
25	6	112108

17 pces sur 18 pces.

pieds.	pces.	Livres.
9	0	385486
12	0	285479
15	0	225431
18	0	185399
21	0	156836
24	0	135386
27	0	118703

17 pces sur 19 pces.

pieds.	pces.	Livres.
9	6	406902
12	8	301339
15	10	237955
19	0	195699
22	2	165549
25	4	142908
28	6	125242

17 pces sur 20 pces.

pieds.	pces.	Livres.
10	0	428318
13	4	317199
16	8	250479
20	0	205999
23	4	174262
26	8	150429
30	0	131892

18 sur pces 18 pces.

pieds.	pces.	Livres.
9	0	408162
12	0	302272
15	0	238692
18	0	196395
21	0	166062

LONGUEUR (pieds.)	LONGUEUR (pces.)	FORCE (Livres.)
24	0	143350
27	0	125686
18 pces sur 19 pces.		
9	6	430837
12	8	319065
15	10	251952
19	0	207211
22	2	175287
25	4	151314
28	6	132668
18 pces sur 20 pces.		
10	0	453513
13	4	335858
16	8	265213
20	0	218116
23	4	184513
26	8	159278
30	0	139651
19 pces sur 19 pces.		
9	6	454773
12	8	336791

LONGUEUR (pieds.)	LONGUEUR (pces.)	FORCE (Livres.)
15	10	265950
19	0	218722
22	2	185025
25	4	159720
28	6	140039
19 pces sur 20 pces.		
10	0	478708
13	4	354517
16	8	279947
20	0	230234
23	4	194764
26	8	168127
30	0	147409
19 pces sur 21 pces.		
10	6	502644
14	0	372243
17	6	293944
21	0	241746
24	6	204460
28	0	176533
31	6	154780

LONGUEUR (pieds.)	LONGUEUR (pces.)	FORCE (Livres.)
20 pces sur 20 pces.		
10	0	503904
13	4	373176
16	8	294681
20	0	242352
23	4	205014
26	8	176913
30	0	155168
20 pces sur 21 pces.		
10	6	529099
14	0	391834
17	6	309415
21	0	254469
24	6	215265
28	0	185824
31	6	162926
20 pces sur 22 pces.		
11	0	554294
14	8	410493
18	4	324149
22	0	266580
25	8	225516

LONGUEUR (pieds.)	LONGUEUR (pces.)	FORCE (Livres.)
29	4	194673
33	0	170685
21 pces sur 21 pces.		
10	6	555554
14	0	411426
17	6	324886
21	0	267193
24	6	226021
28	0	195116
31	6	171072
22 pces sur 22 pces.		
11	0	609724
14	8	451543
18	4	356544
22	0	293244
25	8	248068
29	4	214141
33	0	188863
23 pces sur 23 pces.		
11	6	666413
15	4	493525

LONGUEUR.	FORCE.	LONGUEUR.	FORCE.	LONGUEUR.	FORCE.	LONGUEUR.	FORCE.
23 p^{ces} sur 23 p^{ces}.		24 p^{ces} sur 24 p^{ces}.		pieds. p^{ce}.	Livres.	pieds. p^{ces}.	Livres.
				32 0	254845	20 10	460440
pieds. p^{ces}.	Livres.	pieds. p^{ces}.	Livres.	36 0	223440	25 0	378675
19 2	389716	12 0	725621			29 2	320335
23 0	320510	16 0	537373	25 p^{ces} sur 25 p^{ces}.		33 4	276525
26 10	271132	20 0	424341	pieds. p^{ces}.	Livres.	37 6	242448
30 8	234050	24 0	348986	12 6	787350		
34 6	205207	28 0	295221	16 8	583087		

TABLE de la résistance des bois de chêne dont les dimensions sont exprimées en centimètres, et les poids qui doivent les faire rompre en kilogrames.

NOTA. Les nombres placés dans la première ligne horizontale, indiquent les épaisseurs verticales des pièces ; et ceux de la première colonne marquent les épaisseurs horizontales des mêmes pièces.

LARGEUR	0^{m}, 18	0^{m}, 20	0^{m}, 22	0^{m}, 24	0^{m}, 26	0^{m}, 28	0^{m}, 30
1 MÈTRE DE LONGUEUR.							
m	K	K	K	K	K	K	K
0, 18	29160	36000	42760	51840	60840	70560	81000
0, 20	32400	40000	48400	57600	67600	78400	90000
0, 22	35640	44000	53240	63360	74360	86240	99000
0, 24	38880	48000	58080	69120	81120	94080	108000
0, 26	42120	52000	62020	74880	87880	101920	117000
0, 28	45360	56000	67760	80640	94640	109760	126000
0, 30	48520	60000	72600	86400	101420	117600	135000

LARGEUR	0m, 18	0m, 20	0m, 22	0m, 24	0m, 26	0m, 28	0m, 30
1 MÈTRE 50c DE LONGUEUR.							
m	K	K	K	K	K	K	K
0, 18	19440	24000	29040	34560	40560	47040	54000
0, 20	21600	26666	32266	38400	45066	52266	60000
0, 22	23760	29333	35493	42240	49573	57493	66000
0, 24	25920	32000	38720	46080	54080	62720	72000
0, 26	28080	34666	41946	49920	58586	67946	78000
0, 28	30240	37333	45173	53760	63093	73173	84000
0, 30	32400	40000	48400	57600	67600	78400	90000
2 MÈTRES DE LONGUEUR.							
0, 18	14580	18000	21780	25920	30420	35280	40500
0, 20	16200	20000	24200	28800	33800	39200	45000
0, 22	17820	22000	26620	31680	37180	43120	49500
0, 24	17440	24000	29040	34560	40560	47040	54000
0, 26	21060	26000	31460	37440	43940	50960	58500
0, 28	22680	28000	33820	40320	47320	54880	63000
0, 30	24300	30000	36300	43200	50700	58800	67500
2 MÈTRES 50c DE LONGUEUR.							
0, 18	11664	14400	17424	20736	24336	28224	32400
0, 20	12950	16000	19360	23040	27040	31360	36000
0, 22	14256	17600	21296	25344	29744	34496	39600
0, 24	15552	19200	23232	27648	32448	37632	43200
0, 26	16848	20800	25168	29952	35152	40768	46800
0, 28	18244	22400	27104	32256	37856	43904	50400
0, 30	19540	24000	29040	34560	40560	47040	54000

LARGEUR	0m, 28	0m, 30	0m, 32	0m, 34	0m, 36	0m, 38	0m, 40
3 MÈTRES DE LONGUEUR.							
m	K	K	K	K	K	K	K
0, 28	36586	42000	47786	53946	60480	67086	74666
0, 30	39200	45000	51200	57800	64800	72200	80000
0, 32	41813	48000	54613	61653	69120	77013	85333
0, 34	44426	51000	58826	65506	73440	81826	90666
0, 36	47040	54000	61440	69360	77760	86640	96000
0, 38	49653	57000	64853	73213	82080	91453	101333
0, 40	52266	60000	68266	77066	8640c	96266	106666
3 MÈTRES 50c DE LONGUEUR.							
0, 28	31360	36000	40960	46240	51840	57760	64000
0, 30	33600	38571	43886	49542	55542	61886	68571
0, 32	35840	41142	46811	52845	59245	66011	73142
0, 34	38080	43714	49737	56148	62948	70137	77714
0, 36	40320	46285	52663	59451	66651	74263	82285
0, 38	42560	48857	55589	62754	70354	78389	86857
0, 40	44800	51428	58514	66056	74056	82514	91428
4 MÈTRES DE LONGUEUR.							
0, 28	27440	31500	35840	40460	45360	50540	56000
0, 30	29400	33750	38400	43350	48600	54150	60000
0, 32	31360	36000	40960	46240	51840	57760	64000
0, 34	33320	38250	43520	49130	55080	61370	68000
0, 36	35280	40500	46080	52020	58320	64980	72000
0, 38	37240	42750	48640	54910	61560	68590	76000
0, 40	39200	45000	51200	57800	64800	72200	80000

LARGEUR	0m, 28	0m, 30	0m, 32	0m, 34	0m, 36	0m, 38	0m, 40
	4 MÈTRES 50c DE LONGUEUR.						
m	K	K	K	K	K	K	K
0, 28	24090	28000	31857	35964	40320	44924	49777
0, 30	26133	30000	34133	38532	43200	48133	53333
0, 32	27875	32000	36408	41101	46080	51342	56888
0, 34	29617	34000	38684	43670	48960	54551	60444
0, 36	31360	36000	40960	46239	51840	57760	64000
0, 38	33102	38000	43236	48808	54720	60969	67555
0, 40	34844	40000	45511	51377	57600	64177	71111
	5 MÈTRES DE LONGUEUR.						
0, 28	21952	25200	28672	32368	36288	40432	44800
0, 30	23520	27000	30720	34680	38880	43312	48000
0, 32	25088	28800	32768	36992	41472	46408	51200
0, 34	26656	30600	34816	39304	44064	49096	54400
0, 36	28224	32400	36864	41616	46656	51984	57600
0, 38	29792	34200	38912	43928	49248	54872	60800
0, 40	31360	36000	40960	46240	51840	57760	64000
	5 MÈTRES 50c DE LONGUEUR.						
0, 28	19956	22908	26066	29426	32988	36755	40726
0, 30	21381	24544	27927	31527	35344	39380	43635
0, 32	22806	26181	29789	33629	37701	42006	46544
0, 34	24232	27817	31651	35731	40057	44631	49453
0, 36	25657	29453	33513	37833	42413	47257	52362
0, 38	27083	31090	35375	39935	44770	49882	55271
0, 40	28508	32726	37236	42036	47126	52508	58180

LARGEUR	0m, 28	0m, 30	0m, 32	0m, 34	0m, 36	0m, 38	0m. 40
6 MÈTRES DE LONGUEUR.							
m	K	K	K	K	K	K	K
0, 24	15680	18000	20480	23120	25920	28880	32000
0, 26	16986	19500	22186	25046	28080	31286	34666
0, 28	18983	21000	23893	26973	30240	33693	37333
0, 32	20906	24000	27306	30826	34560	38506	42666
0, 36	23520	27000	30720	34680	38880	43320	48000
0, 38	24826	28500	32426	36606	41040	45726	50666
0, 40	26133	30000	33134	38533	43200	48133	53333
7 MÈTRES DE LONGUEUR.							
0, 20	11200	12856	14628	16513	18513	20627	22856
0, 24	13440	15428	17554	19815	22215	24753	27427
0, 28	15680	18000	20480	23118	25918	28878	31909
0, 32	17920	20570	23405	26421	29621	33003	36570
0, 36	20160	23141	26331	29723	33323	37129	41141
0, 38	21280	24427	27794	31375	35175	39292	43427
0, 40	22400	25712	29256	33026	37026	41254	45712
8 MÈTRES DE LONGUEUR.							
0, 28	13720	15750	17920	20230	22680	25270	28000
0, 30	14700	16875	19200	21675	24300	27075	30000
0, 32	15680	18000	20480	23120	25920	28880	32000
0, 34	16660	19125	21760	24565	27540	30685	34000
0, 36	17640	20250	23040	26010	29160	32490	36000
0, 38	18620	21375	24320	27455	30780	34295	38000
0, 40	19600	22500	25600	28900	32400	36100	40000

LARGEUR	0m, 28	0m, 30	0m, 32	0m, 34	0m, 36	0m, 38	0m, 40
9 MÈTRES DE LONGUEUR.							
m	K	K	K	K	K	K	K
0, 28	12195	14000	15928	17982	20160	22462	24888
0, 30	13066	15000	17066	19266	21600	24066	26666
0, 32	13937	16000	18204	20551	23040	25671	28444
0, 34	14808	17000	19342	21835	24480	27275	30222
0, 36	15680	18000	20480	23120	25920	28880	32000
0, 38	16551	19000	21617	24404	27360	30480	33777
0, 40	17422	20000	22755	25688	28800	32088	35555
10 MÈTRES DE LONGUEUR.							
0, 28	10976	12600	14336	16184	18144	20216	22400
0, 30	11760	13500	15360	17340	19440	21660	24000
0, 32	12544	14400	16384	18496	20736	23104	25600
0, 34	13328	15300	17408	19652	22032	24548	27200
0, 36	14112	16200	18432	20808	23328	25992	28800
0, 38	14896	17100	19456	21964	24624	27436	30400
0, 40	15680	18000	20480	23120	25920	28880	32000
11 MÈTRES DE LONGUEUR.							
0, 28	9977	11455	13033	14713	16495	18378	20363
0, 30	10689	12273	13964	15764	17673	19691	21818
0, 32	11402	13091	14895	16855	18851	21003	23272
0, 34	12115	13909	15826	17866	20029	22316	24727
0, 36	12828	14727	16757	18917	21207	23629	26181
0, 38	13541	15546	17688	19968	22386	24942	27636
0, 40	14253	16364	18619	21019	23564	26254	29090

Il est facile avec ces tableaux d'avoir la résistance d'un morceau de bois quelconque ; soit, par exemple, la résistance d'un morceau de bois de chêne de 6 mètres de long, $0^m,26$ centimètres de large et $0^m,32$ centimètres de haut. On cherchera d'abord la table calculée pour les bois de 6^m de long ; dans la première colonne qui représente la largeur, on cherchera $0^m,26$; dans la première tranche horizontale, on cherchera $0^m,32$, suivant la colonne au-dessous jusqu'à ce qu'elle se rencontre avec la tranche horizontale qui correspond à $0^m,26$, on trouvera le nombre 22,186 qui indique le poids en kilog.[es] qu'un morceau de 6^m de long, $0^m,26$ de large et $0^m,32$ de haut, doit supporter avant de se rompre.

Mais le nombre 22,186 représente le poids total qui doit faire rompre la pièce. Dans ce poids est compris l'effort exercé par la pesanteur du bois.

L'action de la pesanteur d'un morceau de bois librement posé sur ses deux extrémités est égale à la moitié de son poids au milieu de la pièce.

D'après cela un morceau de 6 mètres de long, $0^m,26$ de large et $0^m,32$ de haut, contenant 499 millistères à 0^k 90° le millistère, pèse 449 kilogrammes qui, retranchés de $22,186^k$ poids nécessaire pour faire rompre la pièce, donne 21,737 kilogrammes pour celui qu'il faut ajouter à l'action de la pesanteur.

La moyenne qui a servi à construire les tables sur la résistance du bois de chêne a été déduite de l'expérience faite sur des morceaux posés librement sur deux points d'appui. Tous les bois qu'on emploie dans la construction des planchers, tels que les poutres, les solives d'enchevêtrure, etc., sont le plus souvent encadrés soit dans un mur, soit dans un pan de bois, et sont en conséquence dans le cas des bois retenus par les deux bouts qui, d'après les expériences de Mariotte, Parent, etc., peuvent

supporter un poids double avant de se rompre ; d'où l'on voit qu'il faudra dans ces cas doubler le poids que la pièce peut supporter.

Une autre considération, c'est que la résistance est déduite de la supposition que les pièces de bois sont chargées, dans leur milieu, de tout le poids qui les fait rompre, tandis que dans l'usage ordinaire, le poids supporté se divise dans toute la longueur des pièces. Si la charge était distribuée également sur toute la longueur de chaque pièce, chacune supporterait, avant de se rompre, le double de ce qu'elle supporterait lorsque le poids est au milieu.

Ces deux considérations semblent prouver que la résistance des bois indiquée dans les tables est beaucoup au-dessous de ce que les bois supporteraient réellement. Mais si l'on fait attention que la résistance a été calculée sur la force qui doit faire rompre la pièce de bois, et que celle qui commence à la courber n'est que le tiers de celle qui la fait rompre ; de plus, que cette moyenne est déduite d'expériences faites sur des bois sains ; que dans l'usage, les bois employés ont des gerçures, des nœuds ou d'autres accidents qui déterminent une rupture plus prompte et une résistance moins grande, on voit que l'on peut sans inconvénient se servir des nombres indiqués dans la table.

Il est clair que les tables ci-dessus ne peuvent servir indistinctement à tous les bois de chêne ; il sera donc nécessaire pour en faire usage, de faire une ou deux expériences sur quelques morceaux de bois sain, et de comparer leur résistance avec celle des tables, pour déterminer le rapport qu'il faudra établir.

Si plusieurs morceaux de deux mètres de long et de 6 centimètres d'équarrissage avaient rompu sous un poids moyen de 675 kilogrammes, et si le même morceau dans la table indiquait une résistance de 540, le rapport de 540 à 675 étant de 4 à 5, il

s'ensuivrait qu'il faudrait donner à tous les bois provenant du même terrain une résistance plus grande d'un quart que celle indiquée dans la table.

DES PIERRES.

La pierre est une substance terreuse, endurcie par le temps ; plus les parties qui la composent sont atténuées, et plus elles sont étroitement liées les unes aux autres. Parmi les pierres, les unes sont tendres, d'autres ont acquis une telle dureté, qu'elles ne peuvent être travaillées qu'avec l'acier.

Les pierres varient beaucoup pour la figure, la densité, la grandeur des masses, les couleurs, etc.

On peut considérer les pierres selon la nature des matières qui entrent dans leur formation ; et en général, elles ne diffèrent entr'elles que par la dureté et la liaison des parties, toutes circonstances qui sont l'effet du temps et du hasard.

Les pierres acquièrent de la densité à raison de la finesse de la matière, et elles sont formées par *juxta-position.*

Il me semble que l'abondance ou la rareté des pierres sont toujours relatives à leur densité. Ainsi, la pierre franche est plus commune que le marbre, le marbre moins rare que le granit, le granit plus abondant que le porphyre, et le porphyre se trouve à son tour en plus grande quantité que les pierres précieuses.

Il me semble aussi que la pesanteur des pierres est toujours relative à leur densité ; de manière que pour connaître l'ancienneté relative d'une pierre, je n'ai besoin que de connaître sa pesanteur. Sa pesanteur m'indique sa densité ; sa densité m'annonce sa résistance et l'usage que j'en puis faire.

On peut donc dire des pierres comme des bois, que leur force est proportionnelle à leur pesanteur. Mais il n'en est pas de même pour le temps de la croissance ; le bois qui a cru le plus vite n'est

pas le plus fort ; la pierre qui a mis le plus de temps à se former, est la meilleure, et aussi celle qui offre le plus de résistance.

Je crois qu'il serait possible de fixer à peu près, par analogie, l'âge des pierres ; il est vrai que les élémens sont tellement confondus, et que la vie de l'homme est si éphémère, qu'il est difficile de rassembler des données sur lesquelles on puisse établir un système ; cependant, j'ai fait une expérience qui, si elle avait été suivie de quelques autres, aurait pu conduire à des vérités importantes.

J'ai pris une pierre calcaire formée dans un moulin par l'écoulement continuel des eaux au travers des fentes du plancher dudit moulin ; cette concrétion pierreuse était très-dure ; le bâtiment existait depuis quatre cents ans, et, par conséquent, ces pierres ne pouvaient avoir une formation antérieure. J'observai que les différens amas de cette concrétion pierreuse étaient plus ou moins durs, selon l'ancienneté de leur formation ; j'ai pris un échantillon de cette pierre la plus dure, comme étant la plus ancienne, et je l'ai taillé et réduit à un pouce cube. J'ai pris ensuite un échantillon de pierre calcaire renfermant des bélemnites pétrifiées ; je l'ai réduit aussi à un dé d'un pouce cube ; le premier cube pesait 14 gros ; le second 21 gros. J'ai chargé le premier dé de plusieurs poids, et il s'est écrasé lorsqu'il a été chargé de 215 livres ; j'ai chargé le second, et il n'a cédé qu'à la charge de près de 2,080 livres. J'ai répété plusieurs fois cette expérience dont les résultats ont été à peu près les mêmes, et j'ai trouvé ce rapport : si une pierre qui cède à un poids de 215 livres, toutes choses égales d'ailleurs, a mis quatre cents ans à se former, combien celle qui ne cède qu'à un poids de 2,080, a-t-elle mis d'années à se former? cette proportion donne près de trois mille neuf cents ans, singulier rapprochement avec l'époque de la catastrophe qui doit avoir donné lieu à la formation de la dernière pierre.

On conçoit bien qu'on ne peut avoir là-dessus que des résultats très-incertains ; mais on pourrait faire des expériences plus étendues qui, je crois, donneraient plus de poids à mon opinion.

Rien de plus varié que la figure des pierres. On en voit qui affectent constamment une forme régulière et déterminée, tandis que d'autres se montrent dans l'état de masses informes et sans nulle régularité ; quelques-unes, en se cassant, se partagent toujours, soit en cubes, soit en trapézoïde, ou autres figures ; d'autres se cassent en fragmens informes et irréguliers ; quelques pierres se trouvent en masses détachées ; d'autres se présentent sous la forme de bancs ou de couches immenses ; d'autres, enfin, sont des blocs énormes et des montagnes entières. De toutes ces pierres, les unes donnent des étincelles, lorsqu'elles sont frappées avec le briquet, d'autres n'en donnent pas ; quelques pierres se calcinent et perdent leur liaison par l'action du feu ; d'autres se durcissent au feu, y entrent en fusion ; il y en a qui se dissolvent dans les acides, d'autres qui n'en reçoivent aucune altération.

C'est au milieu de toutes ces variétés que l'ingénieur est obligé de choisir les pierres les plus propres à l'usage des travaux dont il est chargé.

Les pierres peuvent se diviser, selon leur essence, en cinq classes principales :

La première renferme les pierres argileuses qui durcissent au feu, et ne sont point attaquées par les acides ;

La deuxième comprend les pierres calcaires, qui se dissolvent dans les acides, et se réduisent en chaux par le moyen du feu ;

La troisième contient les pierres gypseuses ou à plâtre : elles forment le plâtre par l'action du feu, et ne se dissolvent point dans les acides ;

La quatrième contient les pierres vitrifiables qui ne sont pas non plus attaquables par les acides ; mais on en tire des étincelles en les frappant d'un briquet ;

La cinquième renferme les pierres fusibles par elles - mêmes, au degré du feu où les précédentes ont résisté : elles ne font point de feu avec le briquet ; elles sont très-pesantes.

Nous ne devons considérer ici les pierres que dans leur rapport avec l'emploi qu'on en doit faire : je donnerai un extrait du Mémoire de M. Rondelet sur les *pierres de taille ;* on ne peut citer un auteur qui ait plus de connaissances en ce genre dans la partie de l'architecture : j'y joindrai une notice sur les différentes espèces de pierres de taille qui se trouvent en France.

DES PIERRES DE TAILLE.

On peut diviser l'emploi des pierres en deux classes : la première comprend les pierres dures, c'est-à-dire, celles qui ne peuvent se débiter qu'à la scie à eau et au grès, comme les marbres ; la seconde comprend les pierres tendres, c'est-à-dire, celles qui peuvent se débiter à la scie à dents, comme les pierres de Conflans et de Saint-Leu, dont on fait usage à Paris.

Les bonnes qualités de pierres, tant dures que tendres, sont d'avoir le grain fin et homogène ; la texture uniforme et compacte ; de résister à l'humidité, à la gelée, et de ne pas éclater au feu, dans le cas d'incendie.

Il y a peu de pierres qui réunissent toutes ces qualités ; c'est pourquoi le premier soin d'un architecte chargé de l'exécution d'un édifice, doit être de s'assurer des qualités des différentes espèces de pierres dont on fait usage dans le pays où cet édifice doit être situé, afin de les employer chacune aux ouvrages auxquels elles sont le plus propres.

Pour y parvenir, il faut, si ce sont d'anciennes carrières, visiter les édifices construits avec les pierres qui en proviennent, examiner l'état où elles se trouvent, afin de connaître si elles résistent aux fardeaux, aux intempéries de l'air, à l'eau ou à l'humidité; la manière dont elles sont mises en œuvre ; si elles sont sujettes à se déliter, et si elles peuvent être posées autrement que sur leurs lits de carrière.

Lorsque ce sont de nouvelles carrières que l'on exploite, il est bon d'en tirer des blocs dans toutes les saisons de l'année ; d'en exposer à l'air, à l'eau, à l'humidité, à la gelée et même à l'action du feu.

L'expérience a fait connaître que les pierres scintillantes, c'est-à-dire, qui font feu avec le briquet, résistent mieux à toutes ces épreuves que les pierres calcaires : elles sont ordinairement plus dures et plus difficiles à travailler.

Les pierres calcaires qui sont moins dures, se travaillent plus facilement; mais elles sont moins fortes, et résistent moins aux intempéries de l'air : elles sont sujettes à éclater au feu dans le cas d'incendie.

On remarque dans les pierres de même espèce, que celles dont la couleur est moins foncée sont ordinairement plus tendres.

Les pierres dont la cassure est remplie d'aspérités et de points brillans se travaillent plus difficilement que celles qui ont la cassure lice et le grain uniforme.

Lorsqu'on mouille une pierre, si elle absorbe l'eau promptement, et qu'elle augmente de poids, elle est peu propre à résister à l'humidité.

Les pierres qui rendent un son plein lorsqu'on les taille, ont beaucoup de consistance.

Enfin, dans les pierres de même espèce, les plus dures et les plus fortes sont aussi les plus pesantes.

DES DIFFÉRENTES ESPÈCES DE PIERRES DE TAILLE QUI SE TROUVENT EN FRANCE.

Dans la description qu'on va faire de ces différentes espèces de pierres, on suivra l'ordre des départemens, en allant du nord au midi.

Nous avons préféré cet ordre, parce que c'est un moyen de parcourir toute l'étendue de la France d'une manière uniforme et régulière.

Dans les pays qui comprenaient ce qu'on appelait autrefois les départemens réunis et ceux qui les avoisinent, la majeure partie des constructions est en briques. Les pierres qui s'y trouvent étant dures, leur taille devient coûteuse, et c'est pourquoi on n'en met qu'aux endroits où elles sont obsolument nécessaires, par raison de solidité ou de décoration, comme pour les jambages de portes ou croisées, pour les lintaux, les appuis, les marches d'escalier, les corniches, pilastres, colonnes et autres ornemens d'architecture.

1° Dans le département de la Meuse, les deux bords de ce fleuve, au-dessous de Namur jusqu'au de-là de Huy, sont remplis de carrières d'une espèce de pierre bleuâtre, dont le grain est plus ou moins fin. On remarque que celles qu'on tire près de Namur s'éclatent plus facilement, et on en trouve qui ne résistent pas à la gelée, quand on les tire dans l'arrière saison.

2° Il y a de cette espèce de pierre bleue dans le département du Nord, à Gassinié, près le Quesnoy.

3° A Douai, dans le département du Nord, on fait usage d'une pierre blanche et tendre, que l'on tire de Aarden.

4° Celles qu'on tire des environs d'Arras, dans le département du Pas-de-Calais, sont d'une qualité médiocre.

5° On préfère une espèce de grès à bâtir, qui se trouve à plusieurs endroits de ce département.

6° Dans le département du Haut-Rhin, dont le chef-lieu est Colmar, on trouve des pierres de taille plus ou moins dures, d'une médiocre qualité ; c'est pourquoi on leur préfère le grès.

7° La pierre de taille que l'on emploie dans le département des Vosges, est une espèce de grès tendre, dont le meilleur se trouve proche le village de Forges, près de la route d'Epinal à Mirecourt.

8° A quatre lieues de la ville de Saint-Diey, sur le penchant de la montagne de Bon-Homme, on trouve des carrières d'une fort belle pierre. Il s'en trouve de même qualité près de Senones.

9° La pierre tendre se tire d'un endroit appelé *Balin*, à une demi-lieue de Nancy.

10° Dans le département de la Meurthe, les pierres dont on fait usage, sont celles des carrières de Norroy et d'Einville.

11° On fait aussi usage de pierre de roche.

12° A Metz, et dans le département de la Moselle, les pierres de taille dures se tirent de Jaumont et d'Amanviller, à trois lieues de Metz : elles sont jaunâtres, d'un grain assez fin et de bonne qualité.

13° La pierre dure de Servigny, à quatre lieues de Metz, est bleuâtre : on s'en sert pour les marches d'escalier et les bornes.

14° On tire encore de fort belles pierres des carrières de Longueville, à 6 lieues de Metz.

15° Sur les confins de la Marne et de la Haute-Marne, entre Vitry-le-Français et Saint-Dizier, on trouve les carrières de Faremont, Chevillon et la Sablonnière, qui fournissent des pierres d'un blanc roux et d'une dureté moyenne.

16° On trouve encore le long de la Marne, les carrières de Mareuil, d'Ay, de Dizy et d'Epernay, qui sont à peu près de même nature.

17° A deux myriamètres de Châlons-sur-Marne, dans un lieu appelé *Faloise*, on trouve une espèce de pierre tendre à gros grain, qui ne soutient pas bien les arêtes, mais qui est très-bonne dans l'eau où elle durcit, et elle ne gèle jamais.

18° Dans le département de la Meuse, dont Bar-sur-Ornain est le chef-lieu, on trouve les carrières de pierres tendres de Brillon et de Savonnière, qui sont estimées, et dont on fait usage dans les départemens voisins, pour les ouvrages précieux d'architecture et de sculpture.

19° La pierre que l'on tire du mont Sainte-Marie, près de la ville de Saint-Michel, est assez belle, et de bonne qualité.

20° Les carrières de Ville-Issey, près de Commercy, fournissent des pierres coquilleuses.

21° Dans les environs de Mézières, département des Ardennes, on trouve des carrières d'une espèce de pierre dure bleuâtre, qui ne porte que 12 à 15 pouces de hauteur de banc, ou de 32 à 40 centimètres.

22° Dans le même département, à une lieue de Sedan, il existe, dans un lieu appelé *Saint-Mauge*, une carrière de pierres de taille qui est fort belle.

23° Dans le département de la Haute-Marne, à quatre lieues de Chaumont, on trouve sur les coteaux de Vignon, des carrières de pierres dures coquilleuses, de même qu'à Choine et à Ennouveau, situés à quatre lieues de Langres. On trouve encore des pierres remplies de coquillages à Roquigny.

24° Les pierres de taille qui s'emploient dans le département de l'Aube, dont Troyes est le chef-lieu, viennent des départemens voisins.

25° Dans le département de Seine-et-Marne, il ne se trouve que des carrières de grès, dont on se sert pour paver et pour bâtir.

Département de la Seine.

26° Quoique ce département soit le moins étendu en superficie, c'est cependant un de ceux où il se trouve un plus grand nombre de carrières qui occupent presque toute son étendue. La partie méridionale de Paris, et les plaines au dehors, depuis la rivière jusqu'à Meudon, renferment des carrières, dont une grande partie est déjà exploitée. Les pierres qu'on en tire sont calcaires, disposées par lits ou bancs de différentes épaisseurs et duretés. Leur couleur est généralement d'un blanc roux, tirant sur le gris, dont la teinte est plus ou moins foncée. On les distingue en cinq espèces propres à être employées comme pierres de taille, qui sont le liais, le cliquart, la roche, le banc-franc et la lambourde.

Liais.

27° Le liais paraît réunir toutes les qualités des plus belles pierres; son grain est fin, sa texture compacte et uniforme; il se taille bien, et peut résister à toutes les intempéries de l'air, quand il a été tiré de la carrière dans un temps convenable; car il est sujet à geler, quand il est employé dans l'arrière saison, avant d'avoir essuyé son eau de carrière. On en peut tirer des blocs de six à sept mètres de longueur, sur deux ou trois de largeur.

L'épaisseur du vrai liais n'étant que d'environ deux décimètres ou sept à huit pouces, son usage se trouve borné à des marches d'escaliers, des cimaises, des tablettes, des balustrades, des chambranles de cheminée, et autres ouvrages qui exigent peu d'épaisseur.

Le beau liais se tirait des carrières qui étaient auprès de la barrière Saint-Jacques et derrière le clos des Chartreux; mais elles sont épuisées.

On a substitué au liais une espèce de bas appareil ou de cliquart, qui se trouve dans plusieurs carrières des plaines de Bagneux et de Mont-Rouge. Ce nouveau liais porte depuis 10 jusqu'à 12 pouces d'épaisseur, ou de 27 à 33 centimètres. En général, on donne le nom de liais à toutes les pierres fines de bas appareil, dont on fait usage à Paris ; ainsi, il y a le liais de Meudon, de Maisons, de Saint-Cloud, de Saint-Leu, etc.

Le liais, relativement à sa qualité, est de trois espèces, qui sont : le liais dur, le liais ferault et le liais tendre. Le premier est celui que l'on tire des carrières d'Arcueil, de Bagneux et des plaines de Mont-Rouge ; le liais ferault est de mauvaise qualité, et extrêmement dur ; le liais tendre se tire des carrières de Maisons, au-dessus de Charenton, et de St-Cloud : on distingue ce dernier sous le nom de *liais rose.*

Cliquart.

28° La pierre que l'on désigne actuellement sous le nom de *cliquart*, est une pierre dure, moins fine que le liais. Le cliquart qui se tire d'Arcueil, de la plaine de Bagneux et du Val-de-Meudon, porte environ 12 pouces de hauteur de banc, ou 33 centimètres. On en tire des plaines de Mont-Rouge et de Vaugirard, qui porte depuis 14 pouces jusqu'à 22, c'est-à-dire, depuis 38 jusqu'à 60 centimètres : ce dernier est rougeâtre, et a le grain moins fin.

Roches.

29° Les pierres auxquelles on donne le nom de *roches* sont dures et coquilleuses. La plus belle et la plus plaine est celle qui se tire du fond de Bagneux ; elle ne porte que 15 pouces de hauteur de banc, ou 41 centimètres.

30° La roche de la Butte-aux-Cailles, près la barrière des Gobelins, a le grain plus gros que la précédente, et elle est moins

coquilleuse; elle a 24 pouces de hauteur de banc, ou 66 centimètres.

31° La roche du fond d'Arcueil a le grain plus fin, mais elle est plus coquilleuse : elle porte 18 pouces de hauteur de banc, ou 50 centimètres environ.

32° La roche de Châtillon est à peu près de même genre, et un peu plus grise; elle porte de 22 à 24 pouces de hauteur de banc, c'est-à-dire, de 60 à 66 centimètres.

33° La roche de Passy est plus blanche, a le grain plus fin; mais elle est sujette aux fils; elle porte de 18 à 22 pouces de hauteur de banc (49 à 60 centimètres).

34° On tire du village de St-Maur une roche moins belle et de meilleure qualité, qui porte 18 pouces, ou 50 centimètres de hauteur de banc.

35° La roche de Saint-Cloud, rousse et coquilleuse, mais de bonne qualité, porte depuis 18 pouces jusqu'à 2 pieds de hauteur de banc. On en peut tirer des colonnes d'une seule pièce de 5 à 6 mètres de hauteur (15 à 18 pieds), qui résistent à toutes les intempéries de l'air, quoique posées en délit, ainsi qu'on le voit par celles des façades de la cour du Louvre et des Tuileries.

Banc-franc.

La pierre désignée sous ce nom est celle qui va, pour la finesse du grain et la dureté, après le cliquart.

36° La meilleure est celle d'Arcueil, qui porte environ 12 pouces d'épaisseur. Les parties inférieures de l'édifice du Panthéon-Français, jusqu'a trois mètres de hauteur, sont construites de cette pierre.

37° On en tire des carrières des plaines de Bagneux et de Mont-Rouge, qui porte de 12 à 15 pouces de hauteur de banc.

38° Les pierres qu'on tire des plaines de l'Hôpital, d'Yvry et de Vitry, sont de même qualité : elles portent depuis 12 jusqu'à 18 pouces de hauteur de banc. Les plus fines sont celles qui ont le moins d'épaisseur.

39° Les pierres de Creteil, de Saint-Maur et de Chárenton, sont de même espèce : elles portent de 12 à 15 pouces de hauteur de banc. Les plus belles sont celles de Creteil.

40° La pierre que l'on tire de la vallée de Féeamp, sous Saint-Denis, est encore de la même espèce : elle est aussi fine, aussi pleine que les pierres des carrières de Bagneux et de Mont-Rouge, et porte la même hauteur de banc. Celle qu'on désigne sous le nom de *banc-royal*, est aussi belle que le liais.

41° Il se trouve dans les plaines de l'Hôpital et du faubourg Saint-Marcel, une espèce de pierre appelée *haut-banc*, dont le grain n'est pas si beau que celui de banc-franc, et qui porte depuis 20 jusqu'à 24 pouces de hauteur.

Lambourde.

La lambourde est une espèce de pierre tendre qui porte depuis 24 jusqu'à 36 pouces de hauteur, ou depuis 66 centimètres jusqu'à un mètre. Son grain est grossier.

42° La moins laide est celle qui se tire des carrières de Saint-Maur ; c'est aussi celle qui est de meilleure qualité, et dont le banc porte le plus de hauteur.

43° La lambourde qu'on tire de Gentilly est la plus grossière ; sa hauteur de banc est de 24 à 26 pouces, ou 65 a 70 centimètres.

On parlera des autres pierres dont on fait usage à Paris, lorsqu'il s'agira de celles des départemens d'où elles se tirent.

Département de Seine-et-Oise.

44° Une des plus belles pierres de ce département est celle de Saint-Nom, qui est d'un blanc roux : elle se tire du parc de Versailles où il s'en trouve de plusieurs qualités. Celle qu'on appelle *roche-fine*, ressemble beaucoup, pour le grain et la couleur, à la roche de la plaine de Bagneux : elle porte 49 centimètres, ou 18 pouces de hauteur de banc.

45° La roche ordinaire, dont le grain est un peu moins beau, porte 54 à 59 centimètres, ou de 20 à 22 pouces.

46° Les pierres qu'on tire de Montesson, près de St-Germain, sont de trois espèces. Celle qu'on appelle *banc du diable*, est une pierre moyennement dure, à gros grain, qui porte de 49 à 65 centimètres de hauteur de banc.

47° On tire de la même carrière une lambourde qui porte même hauteur de banc : elle est plus blanche ; son grain est grossier, et ne soutient pas l'arête.

48° Il se trouve une autre carrière auprès de Nanterre, dont la pierre est fort blanche et d'un beau grain : elle ne porte que 25 à 27 centimètres de hauteur (9 à 10 pouces). On ne l'emploie que pour les ouvrages délicats.

49° La pierre de la chaussée se tire des carrières qui sont près de Bougival et de Saint-Germain-en-Laye; c'est une espèce de roche coquilleuse qui ressemble à celle qu'on tire des plaines de Mont-Rouge et de Châtillon ; elle porte jusqu'à 20 pouces de hauteur de banc, ou 54 centimètres. Il s'en trouve qui a le grain presque aussi fin que le liais, mais elle est sujette aux moyes, c'est-à-dire, à des parties tendres dans les lits, qui obligent de réduire son épaisseur à 40 ou 45 centimètres (15 ou 20 pouces).

50° On tire de Poissy, près de Saint-Germain, une espèce de pierre calcaire, appelée *roche*, qui porte environ 18 pouces, ou 50 centimètres de hauteur de banc. Cette pierre est aussi belle que le liais que l'on tire du fond de Bagneux; elle est de même couleur, et a le grain aussi fin.

51° Le banc-franc de Poissy a le grain plus gros et plus rude que la roche du numéro précédent; il est aussi moins dur, et porte 18 à 20 pouces de hauteur de banc.

52° La pierre de l'île Adam sur Oise, à huit ou neuf lieues de Paris, est une espèce de roche coquilleuse rougeâtre, qui porte environ 15 pouces, ou 40 centimètres de hauteur de banc.

53° Celle qui se tire de l'Abbaye-du-Val, dans le même pays, est d'une dureté moyenne, plus blanche : elle a le grain très-fin, et porte 22 pouces de hauteur de banc, ou 60 centimètres.

54° Les carrières de Saillancourt qui sont aux environs de Pontoise, contiennent quatre espèces de pierres dont on peut tirer de très-grands blocs. On en a fait usage pour le pont de Neuilly, et autres. Le grain de cette pierre est grossier, composé de parties hétérogènes, dont quelques-unes sont calcaires. Lorsqu'on verse dessus de l'acide nitrique, les parties calcaires se dissolvent en faisant une forte effervescence, et il ne reste plus qu'un tissu aride, sur lequel l'acide n'a plus de prise.

55° La première qualité qu'on appelle *banc-vert*, est extrêmement dure; sa couleur est grise, mêlée de blanc, avec des points noirs. Cette pierre n'est pas belle, mais elle est d'une bonne qualité.

56° La seconde espèce a le grain plus gros et la couleur plus foncée; elle est moins dure : elle porte 24 pouces ou 65 centimètres de hauteur de banc.

57° La troisième qualité est d'une couleur rousse; son tissu paraît aride : elle est encore moins dure que la précédente, et

d'une moindre épaisseur, qui est de 18 pouces, ou 50 centimètres environ.

58° La quatrième espèce a le grain fort gros, et ne porte que 14 pouces de hauteur de banc : c'est la moindre de toutes.

59° Les carrières de Conflans-sainte-Honorine, à six lieues de Paris, auprès du confluent de la Seine et de l'Oise, fournissent les plus belles pierres tendres qu'on emploie à Paris : il s'en trouve de trois espèces d'un blanc un peu roux.

60° Le banc-royal, dont le grain est le plus beau, porte depuis 4 pieds jusqu'à 7 pieds de hauteur, c'est-à-dire, depuis 13 décimètres jusqu'à 2 mètres $\frac{1}{4}$: on peut en tirer des blocs de toute grandeur. Les deux pierres qui forment les angles du fronton du Panthéon-Français, ont été prises dans des blocs qui avaient 3 mètres en carré, sur deux mètres de haut, et qui pesaient environ 53 milliers, ou 24,600 kilogrammes.

61° Il se rencontre dans ce banc des parties extrêmement dures, qu'on désigne sous le nom de *Conflans-Ferré*.

62° Le banc au-dessous a le grain un peu plus gros et plus tendre : c'est celui dont on fait le plus d'usage.

63° On en trouve encore une autre espèce, appelée *Lambourde de Conflans*, dont le grain est aussi fin que celui du banc-royal ; mais elle est beaucoup plus tendre et de moindre qualité, sujette même à se décomposer à l'eau et à l'humidité.

Pierres du département de l'Oise.

64° La plus belle est celle qu'on appelle *liais de Senlis*, qui se tire de la carrière de Saint-Nicolas : elle a le grain aussi beau que le liais de Paris, mais elle est moins dure, et sa couleur est moins foncée : elle porte depuis 12 jusqu'à 16 pouces de hauteur de banc, c'est-à-dire, de 32 à 42 centimètres.

65° La pierre dure ordinaire, dont le grain est un peu moins fin, porte de 18 à 20 pouces, c'est-à-dire, de 49 à 54 centimètres : elle ressemble, pour le grain et pour la couleur, à celle qu'on tire de la plaine d'Ivry, près Paris.

66° Les carrières des environs de Compiègne fournissent des pierres à peu près de même espèce.

67° Celle qui se tire de Verbery, à trois lieues de Compiègne, est aussi belle que le liais de Senlis : elle porte depuis 20 centimètres jusqu'à 65 de hauteur de banc, c'est-à-dire, de 15 à 24 pouces.

68° La pierre qui se tire de la carrière du Roi, à une lieue de Compiègne, est moin belle, plus grise, et coquilleuse; elle porte 65 centimètres de hauteur de banc (24 pouces).

69° Les pierres de Gamelon, à même distance de Compiègne, sont plus blanches et moins dures; leur grain qui est assez beau, ressemble à celui de la pierre de Passy.

70° La pierre qui se tire dans la forêt de Compiègne, de la montagne dite *de la Princesse*, est grise, et ressemble à du grès; son grain est assez fin, mais rude; son épaisseur ou hauteur est de 65 centimètres, ou 24 pouces.

71° Auprès de Beauvais, on tire des pierres dures de Mérare et de Rousselon, qui sont d'une qualité inférieure aux précédentes.

72° On emploie aussi, comme pierre de taille, une espèce de grès.

Les pierres tendres de ce département, sont celles de Saint-Leu, de Trossy, de Vergelée et de Beauvais.

73° Les plus estimées sont celles de Trossy; il s'en trouve d'aussi belles qu'à Conflans.

74° La pierre de Saint-Leu est d'une qualité inférieure ; son grain est plus gros et sa texture inégale ; il s'en trouve depuis 65 centimètres de hauteur de banc jusqu'à un mètre.

75° La pierre de Vergelée est de deux espèces ; l'une plus dure est d'une bonne qualité, quoique grossière, résistant bien à l'air et à l'eau.

76° L'autre, presqu'aussi tendre que celle de Saint-Leu, et portant même hauteur d'assise, mais d'un grain plus gros.

77° Dans le département de l'Aisne, on trouve la pierre de Soissons, de Crouy et de Saint-Pierre-d'Aigle.

78° La pierre de Saint-Pierre-d'Aigle ressemble à celle de Senlis, mais elle est coquilleuse : elle porte 49 centimètres de hauteur de banc.

79° La pierre de Crouy est moins dure et plus blanche ; son banc porte jusqu'à 84 centimètres de haut, ou 30 pouces : elle ressemble à celle qui se tire de Gamelon près de Compiègne ; son grain est cependant un peu plus rude.

80° Dans le département de l'Eure, on trouve la pierre dure de Vernon, qui est d'une très-belle qualité, d'un grain fin et compacte, comme le beau liais auquel elle ressemble ; sa couleur est un peu plus grise. Cette pierre porte depuis 65 centimètres de hauteur de banc jusqu'à un mètre, ou de 24 à 36 pouces.

81° A Evreux, on fait usage de la pierre dure de Louviers, qui est d'une bonne qualité,

82° Et d'une pierre tendre qu'on tire de Beaumont-le-Roger.

Les principales pierres du département de la Seine-Inférieure sont celles de Caumont, à cinq lieues au-dessous de Rouen, dont on trouve cinq espèces, qui sont :

83° Le bas appareil,

84° Le gros liais,

85° Le banc-franc,

86° Le libage,

87° Et la bize.

Ces pierres sont séparées dans la carrière par des couches de silex.

88° Dans le département du Calvados, on fait usage d'une pierre coquilleuse, qui est d'une assez bonne qualité.

On emploie cette même pierre dans le département de la Manche.

89° A Quimper, dans le département du Finistère, on fait usage d'une espèce de pierre de taille dure et quartzeuse, qui se tire de Pénacréach,

90° De Querhoucnec,

91° Et de Porsmoulic, aux environs de Quimper. Il s'en trouve de différentes nuances, dont le grain est plus ou moins fin. On peut en tirer des blocs de toutes grandeurs.

92° Dans le département du Morbihan, on trouve la pierre de Burgo près de Grandchamp, à trois lieues de Vannes, dont le grain est beau : elle est d'une dureté moyenne.

93° La pierre de Kiboular, qui se tire à deux lieues de Vannes, a le grain plus dur.

94° La pierre dure qui se tire d'Arradon, près la côte, a le grain fin.

95° Les pierres de Besso, qui se tirent à deux lieues de Dinan, département des Côtes-du-Nord, sont pleines de coquillages.

96° La pierre de taille dont on fait usage à Rennes, dans le département d'Ille-et-Vilaine, est une espèce de granite qu'on appelle *pierre de grain :* elle est grise et susceptible de poli.

97° On tire de Fontenai, à deux lieues de Rennes, une pierre qui est très-belle.

98° Il y en a une autre espèce, qu'on nomme *grison* ou *roussière*.

99° Pierre de Sacé, qui se tire à trois lieues de Laval, département de la Mayenne : c'est une espèce de granite d'un gris bleuâtre, tacheté de blanc.

100° Dans le département de l'Orne, la pierre dure est aussi une espèce de granite : il s'y trouve de la pierre tendre qui est blanche, et qui se tire des carrières de Vilaine, près d'Alençon.

101° Pierre d'Ecomois, à cinq lieues du Mans, département de la Sarthe : c'est une pierre bleuâtre, qui est fort belle et de bonne qualité ; son grain est fin et compacte.

102° On fait aussi usage, pour bâtir, de grès dont le grain est très-fin, et qui se taille bien.

103° Pierre de Berchères, à deux lieues et demie de Chartres, sur la route d'Orléans, département d'Eure-et-Loir.

104° Dans le département de Loir-et-Cher, à deux lieues au-dessous de Vendôme, près du village de Thoré, de l'autre côté de la rivière du Loir, on trouve une carrière coupée perpendiculairement, qui n'a pas été exploitée ; on y voit onze couches ou bancs de pierre, faisant ensemble 10 mètres 40 centimètres, ou 32 pieds.

105° On se sert à Blois d'une pierre très-dure, qui est d'une bonne qualité, mais qui n'est pas susceptible d'être taillée proprement.

106° Pierre tendre de Saint-Aignan, qui est fort belle, dont le grain est fin et serré : elle est d'un blanc roux.

107° Pierre de Bouré près de Montrichard, ressemble à celle de Saint-Aignan : elle est plus tendre et plus légère que la précédente.

108° Dans le département du Loiret, on trouve les carrières des Muids, près Saint-Memin,

109° De Lignerolles,

110° Des Crottes,

111° De Briare,

112° De Bonny,

113° De Beaugency.

114° La pierre de Tonnerre, dans le département de l'Yonne, est une des plus belles pierres tendres connues ; son grain est extrêmement fin et compacte : elle porte depuis 43 jusqu'à 49 centimètres, ou depuis 16 jusqu'à 18 pouces. Cette pierre, qui est d'un beau blanc, est réservée pour la sculpture et les ouvrages précieux d'architecture.

Dans le département de la Côte-d'Or, on fait usage de deux espèces de pierres dures calcaires, qui se travaillent bien, et sont même susceptibles du poli.

115° Celle appelée *banc-franc*, est susceptible de geler, lorsqu'elle est employée dans l'arrière-saison, avant d'avoir essuyé son eau de carrière.

116° Les pierres des environs de Salins et de Lons-le-Saulnier, département du Jura, paraissent composées de détrimens de coquilles.

117° Pierre dure de Colombe, près de Vesoul, département de Haute-Saône : cette pierre, qui est calcaire, se taille bien, et peut recevoir le poli.

118° Les pierres dont on fait usage dans le département de Saône-et-Loire, sont blanches et rougeâtres ; ces dernières sont les plus dures : elles se tirent des environs de Tournus.

119° Les blanches sont d'une dureté moyenne.

120° Les pierres de Givry, près de Châlons-sur-Saône, sont de même nature, mais d'une qualité inférieure : la rouge est la plus dure.

121° La blanche est d'une dureté moyenne.

122° La pierre dure des environs de Nevers, dans le département de la Nièvre, est d'une bonne qualité, mais elle est sujette à des veines bleues qui n'ont pas de consistance : sa dureté augmente à l'air, où elle se maintient bien, lorsqu'on a la précaution de ne l'employer qu'après qu'elle a essuyé son eau de carrière.

123° Les pierres qu'on tire près de la ville de Bourges, département du Cher, ressemblent à celles d'Areueil, près Paris.

124° On trouve dans le bois de Boulaise, département de l'Indre, à trois lieues de la Châtre, une espèce de pierre de taille qui est fort dure, dont le grain est fin.

125° Dans le village de Savigné, on tire une espèce de pierre qui résiste au feu le plus violent, on s'en sert pour faire des fourneaux de forges et de verreries : sa nature paraît être un grès cristalisé.

126° Pierre de taille tendre et calcaire qui se tire des carrières d'Ambrault, à quatre lieues de Châteauroux, assez belle, mais sujette à la gelée.

127° Pierre dure d'Athé, à trois lieues de Tours, département d'Indre-et-Loire : elle est coquilleuse et persillée.

128° La pierre de Sainte-Maure, à onze lieues de Tours, est assez belle et moyennement dure ; elle a le grain fin et compacte, se taille proprement, et soutient bien ses arêtes.

129° La pierre de Chinon a un grain moyennement gros et rude, mêlé de coquillages.

Dans le département de Maine-et-Loire, on trouve les carrières de Fourneux et de Champigny, à deux lieues de Saumur.

130° La pierre de Fourneux est d'un gris roussâtre, coquilleuse et très-dure.

131° Celle de Champigny est de même qualité, mais plus coquilleuse.

132° La pierre de Roirie, près Durtal, est d'une couleur jaunâtre, d'une dureté moyenne, se taille bien, et soutient ses arêtes; mais elle est sujette à s'exfolier, lorsqu'on la délite.

133° On fait usage, en plusieurs endroits de ce département, pour les marches d'escalier, les bornes et le pavé, d'un grès qu'on tire de Soucelles.

134° On tire des environs de Nantes, département de la Loire-Inférieure, une pierre très-dure, appelée *roussin* : elle est d'un gris foncé.

135° Dans le département de la Vendée, on trouve, à une lieue de Fontenai-le-Comte, une pierre roussâtre, pesante et sonore, qui résiste à toutes les intempéries de l'air, excellente pour les grandes constructions ;

136° Et une autre pierre blanche, moins dure, pour les constructions ordinaires; mais elle est sujette à geler, quand on l'emploie trop verte.

137° On trouve, dans les environs de Niort, département des Deux-Sèvres, une pierre de même couleur et de même qualité que la précédente, sujette aussi à la gelée;

138° Et une pierre rousse, moins tendre, d'une bonne qualité, qui ne se gèle point, et qu'on emploie pour les soubassemens, les marches d'escalier, et pour le pavé.

139° Les Carrières de Bonnillet, près de Poitiers, dans le département de la Vienne, fournissent de belles pierres blanches et calcaires; mais il faut choisir les bancs;

140° Et une autre espèce de pierre tendre, appelée *louchard*.

141° Dans le département de la Haute-Vienne, la pierre de taille est une espèce de granite qui se tire des montagnes de Grammont, à quatre lieues de Limoges. Il y en a de deux espèces: l'une a le grain fin et serré, susceptible d'être taillée pro-

prement et à vives arêtes. La plus belle vient des carrières de Fanel.

142° L'autre espèce, qui a le grain plus gros, ne soutient pas les arêtes.

143° On se sert, pour bâtir, dans plusieurs endroits du département de la Creuse, d'un granite bâtard qui se fend et se débite comme le grès.

144° A Moulins, dans le département de l'Allier, la pierre de taille dont on fait usage, est une espèce de grès, facile à tailler, dont les carrières ne sont éloignées de Moulins que d'une lieue environ.

145° A Clermont-Ferrand, chef-lieu du département du Puy-de-Dôme, on se sert d'une pierre de taille qui se tire de Volvic, à quatre lieues de Clermont : c'est un produit de volcan, d'un gris blanc, qui est très-dur et très-solide.

Dans le département de la Loire, la pierre de taille est une espèce de marbre bâtard qui est difficile à tailler.

Les pierres de taille qui se trouvent dans le département du Rhône, sont les pierres :

146° D'Anse,

147° De Lucenay,

148° De Pomiers, qui sont à peu près de même qualité; elles sont d'un blanc roux, d'une dureté moyenne et d'un beau grain. La plus belle est celle de Pomiers : elle est pleine et sonore. La plupart des anciennes églises de Lyon sont construites avec cette espèce de pierre. On en fait des chambranles de cheminées.

149° La pierre d'Onsin, de Chessy et de Bagnols est d'un blanc jaunâtre, dont le grain est aussi fin que celui des précédentes.

150° On tire des environs de St-Fortunat, au pied du Mont-d'Or, à trois lieues de Lyon, une espèce de pierre très-dure et coquilleuse, avec des veines rouges et bleuâtres, dont on fait des

plafonds, des jambages de portes, des parpains, des murs d'échiffre et des marches d'escalier : elle peut se poser en délit.

151° La pierre de St-Cyr, dans le même pays, est d'un jaune rouge ; elle est moins belle et moins forte que la précédente ; on ne l'emploie que dans les bâtimens ordinaires construits en moellons. Les carrières d'où l'on tire cette espèce de pierre sont à bouche : on y remarque quatre masses de pierres, distinguées par leurs couleurs et leurs qualités.

152° La première, qui a 10 pieds d'épaisseur, est souci foncé; elle ne s'emploie que comme moellons, et les autres comme pierres de taille.

153° La deuxième, qui a 7 pieds d'épaisseur, fournit une pierre dont le grain est plus fin, et la couleur plus foncée.

154° La troisième, qui a 18 pieds d'épaisseur, fournit une pierre dont la couleur tire sur le rouge.

155° La quatrième ne diffère de la troisième que par la teinte qui est un peu plus rousse, et parce qu'elle est remplie de coquillages.

156° Les carrières de Couson, qui sont à peu de distance des précédentes, fournissent des pierres jaunes de deux qualités. L'une s'emploie comme pierre de taille pour les jambages de portes, croisées, chambranles de cheminées, et encoignures des murs en moellons.

L'autre qui est remplie de geodes et de veines de silex, se débite en moellons.

157° Dans le département de l'Ain, il y a des carrières de pierres dures d'une excellente qualité, connues sous le nom de *pierres de choin*. On en fait beaucoup d'usage à Lyon, sur tout de celles qui se tirent de Villebois qui en est éloigné de douze lieues. Cette pierre est d'une couleur grise; son grain est fin, homogène et compacte; elle résiste bien au fardeau et à toutes les intem-

péries de l'air ; elle a une si forte consistance, qu'on en forme des lintaux de portes d'une seule pièce, des limons d'escalier, et des plafonds de 5 à 6 mètres de longueur, qui ne sont soutenus que par leurs extrémités.

158° Le choin de Fay a les mêmes qualités que le précédent ; il a le grain plus fin, il est d'une couleur moins foncée, et susceptible d'un aussi beau poli que le marbre. On en peut tirer des blocs d'une grandeur considérable, et d'un mètre d'épaisseur ; mais il est sujet à se déliter quand il n'est pas bien choisi, et il s'y trouve des cristallisations qui le rendent difficile à travailler.

Dans plusieurs autres endroits de ce département, il se trouve des pierres de taille d'une dureté moyenne, et des pierres tendres dont on fait usage pour les constructions ordinaires.

159° A Grenoble, dans le département de l'Isère, on emploie pour bâtir la pierre dure de Fontanil, dont les carrières sont à environ deux lieues de la ville. Cette pierre, qui est d'un gris tirant sur le bleu, se taille proprement ; mais elle est sujette à se décomposer quand elle n'a pas été bien choisie et ébousinée.

160° La pierre de Sassenage, qui est d'un blanc roux, et de très-bonne qualité, se travaille bien ; mais on ne peut s'en procurer que des blocs d'une grandeur médiocre.

161° Il se trouve un rocher auprès d'une des portes de la ville de Grenoble, dont on tire des pierres d'une grandeur considérable, qu'on emploie pour les rez-de-chaussées.

162° On fait aussi usage d'une espèce de grès tendre, appelée *mollasse*, que l'on tire de Vorrèpe, à trois lieues de Grenoble : on l'emploie principalement pour les jambages des portes et croisées.

163° A Gap, dans le département des Hautes-Alpes, la pierre de taille est une espèce de marbre, d'un gris noir, facile à tailler.

164° Dans les départemens du Var et des Alpes-Maritimes, on trouve une espèce de pierre dure, grise, qui est d'une fort bonne qualité ;

165° Et une espèce de pierre blanche d'un bleu grisâtre, qui est calcaire, dont on peut tirer des blocs d'un mètre de hauteur de banc sur autant de largeur, et un mètre et demi de longueur.

166° Dans le département des Bouches-du-Rhône, il y a deux espèces de pierres dures calcaires ; l'une désignée sous le nom de *pierre froide*, se tire de Cassis, près d'Aix ;

167° L'autre, plus fine, est appelée pierre de *Callisanne ;*

168° Une autre espèce moins dure, dite de *Saint-Leu-d'Arles ;*

169° Et la pierre tendre de la Couronne.

170° A Avignon, dans le département de Vaucluse, il y a une espèce de pierre moyennement dure, d'un blanc roux, qui est d'une très-belle qualité, dont on fait usage pour les beaux ouvrages d'architecture et pour la sculpture.

Il se trouve dans le département du Gard plusieurs espèces de pierres, qui sont toutes d'une bonne qualité.

171 La pierre qu'on tire sur le chemin de Nîmes à Alais, est très-dure ; elle ne se taille qu'à la pointe, mais elle est belle et susceptible du poli.

172° Les arènes de Nîmes ont été construites avec la pierre de Barutel, dont les carrières sont à une lieue de la ville.

173° On fait encore usage de cette pierre, ainsi que de celle appelée *Roque-Maillères*, pour les escaliers. Cette dernière est moins dure, et résiste à la gelée.

174° Ce beau temple antique, connu sous le nom de *maison carrée de Nîmes*, est construit avec de la pierre de Lens, situé sur le chemin de Russau, à environ trois lieues de Nîmes ; c'est une fort belle pierre, qui résiste bien à toutes les intempéries : elle est d'un gris blanc.

175° La pierre tendre de Beaucaire est d'un gris blanc ; elle dureit à l'air, conserve son poli : elle est belle, et propre pour les moulures et autres ornemens d'architecture.

176° On tire du même endroit, une pierre jaunâtre un peu dure.

177° Une autre grisâtre de même qualité.

178° Les pierres de Roque - Partide sont de meilleure qualité que les précédentes, et résistent mieux aux injures de l'air. Les carrières de ces dernières sont à quatre lieues de Nîmes.

179° On trouve encore dans ce département, les pierres de Mus ou d'Aiguevives, qui sont d'un gris très-bleu, et remplies de coquillages. Ces pierres ont la propriété de résister au feu, et craignent l'humidité ; elles se tirent à quatre ou cinq lieues de Nîmes.

180° Dans le département de l'Ardèche, à Privas, on fait usage de grès qui se taille facilement,

181° Et d'une pierre calcaire qu'on tire de Chamarac, qui approche de la beauté du marbre.

182° La pierre dure de Crussol, sur la rive droite du Rhône, est aussi très-belle, et susceptible du poli.

183° Dans le département de la Drôme, à Valence et aux environs, on emploie la pierre de mollasse de Château-Neuf-d'Isère, qui se taille facilement, et dureit à l'air : on en fait les jambages des portes et croisées, et les âtres de cheminées.

184° La plus dure, qu'on nomme *rachat*, sert à faire des dalles dont on pave les rez-de-chaussées.

185° Pierre blanche de Cambouin, calcaire, et d'une belle qualité ; elle a l'apparence du marbre, et elle est susceptible du poli. On la réserve pour les ouvrages précieux d'architecture et de sculpture.

186° Dans le département de la Haute-Loire, qui a pour chef-

lieu le Puy, la pierre dont on fait usage est du grès. On en distingue de deux espèces, l'un gris-blanc à gros grains, qui ne soutient pas ses arêtes;

187° L'autre qui est bleuâtre, a le grain très-fin et très-dur, susceptible d'être poli.

188° Une autre pierre de taille, qui est une espèce de poudingue volcanique, se tire du Mont-d'Anis; elle a la propriété de résister au feu.

189° Dans le département de la Lozère, dont Mende est le chef-lieu, la pierre de taille que l'on emploie est extrêmement dure.

190° La pierre de taille dont on fait usage à Aurillac, chef-lieu du département du Cantal, est une espèce de basalte qu'on trouve dans les montagnes qui entourent cette ville. On le débite en morceaux d'environ un mètre, ou 3 pieds de longueur, sur 30 centimètres (11 pouces) de largeur, et 27 centimètres (8 pouces) d'épaisseur. Cette pierre est d'une dureté moyenne; sa couleur n'est pas agréable.

191° Il s'y trouve aussi une pierre calcaire; mais, outre qu'elle est difficile à tailler, elle n'est pas d'une bonne qualité.

192° Pierre de taille blanche, qui se tire à deux lieues de Tulle, département de la Corrèze. Cette pierre, qui est fort dure, est un schiste granité qui se travaille bien.

193° Il y en a une autre espèce, qui est un schiste noir fort dur.

194° A Périgueux, dans le département de la Dordogne, on se sert d'une pierre dure calcaire, qui est d'une fort bonne qualité.

A Angoulême, dans le département de la Charente, on emploie de la pierre tendre calcaire, qui durcit à l'air en peu de temps.

195° Il y en a de deux sortes; celles qu'on tire des carrières de Larche sont moyennement dures.

196° Celle des carrières du Lion sont plus tendres.

Dans le département de la Charente-Inférieure, les carrières qui sont aux environs de Saintes, fournissent de fort belles pierres, surtout celles de Saint-Vivien, qui sont composées de cinq bancs.

197° Le premier est d'une pierre douce et tendre;

198° Le second est formé d'une pierre dure et robuste;

199° Le troisième, qu'on appelle *brodé*, est rempli de cailloux et de coquilles;

200° Le quatrième est mélangé;

201° Et le cinquième, qu'on appelle *rapin*, est de peu d'usage.

202° Près de l'église de Saint-Eutrope-lès-Saintes, est une semblable carrière, dont les pierres sont remplies de pétrifications.

203° La pierre de Saint-Vaizé est la meilleure et la plus belle de ce département; celle qui résiste le mieux à la gelée. Les carrières sont au bord de la Charente, à une lieue de Saintes.

204° Les pierres blanches de Bresanne et de Saint-Sorlain, qui se tirent à deux lieues de Saintes, de l'autre côté de la Charente, sont très-belles, ont le grain très-fin, et peuvent être employées pour les ouvrages les plus délicats de l'architecture et de la sculpture.

205° On trouve encore des pierres blanches d'un grain très-fin, à Saint-Savinien, près de Taillebourg, à trois lieues de Saintes;

206° Dans le village de Saint-Même, qui en est à sept;

207° Et dans celui de Retos, qui n'en est qu'à deux.

208° Dans le village d'Arcicos, on trouve une espèce de pierre singulière, dont les pores s'ouvrent au soleil et se ferment à l'humidité.

Les pierres qu'on emploie le plus ordinairement à Bordeaux, département de la Gironde, se tirent des bords de la Garonne, en la remontant depuis environ quatre lieues jusqu'à dix.

209° Les carrières les plus proches sont celles de Langoiran;

210° Au-dessus sont celles de Rioms;

211° Celles de Cerons;

212° Celles de Condillac, dont la pierre est un peu fière;

213° De Barsac, qui est de bonne qualité;

214° Et de Saint-Macaire, qui sont les plus éloignées.

Ces pierres se débitent en petits blocs, et se conduisent par eau jusqu'à Bordeaux; mais on en peut faire débiter exprès d'un plus grand échantillon.

215° Les pierres dures qu'on tire de Saint-Michel, sur la Dordogne, sont propres à faire des marches d'escalier.

216° Celle qu'on tire de Rausans est plus belle et d'une aussi bonne qualité. C'est de ces deux dernières espèces de pierres dures qu'on s'est servi pour la construction du Grand-Théâtre de Bordeaux.

217° La pierre de Bourg, auprès du Bec-d'Ambez, est d'une dureté moyenne.

218° Les pierres tendres sont celles qui se tirent des carrières de Roque-du-Tau, Combes et Baurech. On les distingue sous le nom de *petite roque* et de *grande roque*.

219° La grande roque est moins tendre : on en fait usage pour les murs de refend.

220° Les pierres de taille qui se trouvent dans le département de Lot-et-Garonne sont d'une dureté moyenne.

221° Dans le département du Lot, la pierre de taille est très-dure, et sujette à la gelée, lorsqu'elle n'est pas bien choisie.

222° Il s'en trouve de blanches moins dures; la plus belle est celle qui se tire du Fumel, dont on fait des chambranles de cheminées qu'on envoie à Bordeaux.

223° Il y a une autre espèce de pierre roussâtre plus commune, qui se trouve par assises.

Dans le département du Gers, dont Auch est le chef-lieu, on se sert de deux espèces de pierres de taille :

224° L'une, grise, est de la nature du tuf;

225° L'autre, qui est tendre, est calcaire.

Les pierres de taille dont on se sert dans le département de Haute-Garonne, et surtout à Toulouse, viennent du département de l'Aude.

226° Aux environs de Carcassonne, dans le département de l'Aude, on trouve deux espèces de pierres dures, une qui paraît être de la nature du grès ;

227° L'autre, qui vient de Roquefort, est de trois qualités différentes. La première, qui est blanche, est la plus dure ;

228° La deuxième est d'un gris bleuâtre.

229° La troisième est la plus belle ; son grain est très-fin : on la réserve pour les beaux ouvrages d'architecture et de sculpture.

Dans le département de l'Hérault, dont le chef-lieu est Montpélier, on trouve deux espèces de pierre dure :

230° L'une, qui est grise et blanche, se tire de Vandargue, à environ deux lieues de Montpellier;

231° L'autre, qui est d'un gris roux, vient de Saint-Jean-de-Véda ; elle est un peu coquilleuse.

232° La pierre qu'on tire des carrières de Pignan, est une espèce de grès qui se débite en morceaux de peu d'épaisseur.

233° On tire des environs du port de Cette une espèce de pierre dure, dont le grain est fin et bien lié, fort belle, et susceptible d'être polie, qui résiste à l'eau, à la gelée, et à toutes les intempéries de l'air.

234° La pierre de Rocaule, qui se tire près d'Agde, est bonne pour les ouvrages qui se construisent dans l'eau : c'est une espèce de lave d'un gris cendré.

235° Les pierres tendres se tirent des carrières de Saint-Genies et de Castries.

236° On tire aussi, des carrières de Brésine et de Nissan, près de Béziers, des pierres tendres.

237° Dans le département des Pyrénées-Orientales, il se trouve des pierres, moyennement dures et poreuses, qui se tirent des carrières de Las-Fons et de Baicas, à trois lieues de Perpignan : elles sont difficiles à tailler, mais elles sont de bonne qualité, et résistent à toutes les intempéries de l'air. On s'en sert pour faire les jambages de portes et de croisées, et pour les encoignures.

238° A Foix, dans le département de l'Arriège, la pierre de taille dont on se sert est une espèce de grès de couleur grise, qui se tire de Marseillon.

239° A Tarbes, dans le département des Hautes-Pyrénées, on emploie pour pierre de taille, des marbres qu'on tire des carrières de Lourdes, qui sont blancs et gris, veinés de noir, de bonne qualité, et susceptibles d'un beau poli.

240° Dans le département des Basses-Pyrénées, dont le chef-lieu est Pau, on fait usage des pierres dures qu'on tire de Box-d'Arros et de Gan.

241° On y trouve des pierres tendres ; mais elles sont de mauvaise qualité, et sujettes à geler : on ne peut en faire usage qu'à l'intérieur.

Je terminerai cet article par la description de la machine inventée par M. Perronet, pour produire de grandes pressions, et connaître la résistance absolue des pierres, des bois et des métaux employés dans les grandes constructions.

Cette machine étant fort simple, peut être employée dans tous les cas où l'on a de très-grandes pressions à produire, puisque le *maximum* du poids total peut être porté jusqu'à trente-neuf

milliers. Elle consiste en un levier ou barre de fer AA, dont une des extrémités B ne peut tourner qu'autour d'un axe fixé à un très-fort montant en fer C, invariablement scellé dans un massif de maçonnerie, sous le carreau, et au mur vertical contre lequel tout le système de la machine est adossé (*pl. LIII*).

La barre qui forme le levier est composée de deux parties, dont une mobile sur l'autre, dans le sens de sa longueur, permet d'allonger ou de raccourcir le bras du levier : elles portent l'une et l'autre des traits de divisions qui servent à mesurer l'allongement ou la diminution du bras du levier, et sont liées par deux étriers en fer DD : on fait action sur ce levier, lorsqu'une pièce quelconque est mise en expérience, au moyen de poids posés avec précaution et sans secousses, sur un fort plateau de bois E, qui est suspendu par quatre cordes, et un fort anneau de fer placé dans une échancrure F faite exprès à l'extrémité du bras du levier supposé à peu près horizontal.

Lorsqu'on veut se servir de cette machine pour produire de grandes pressions, on place d'abord l'objet à comprimer sur le sommier en bois de chêne N qui sert de base à toute la machine, et ensuite sous le centre du mouton, ou masse de fer G, au moyen de calles de bois et de fer de différentes épaisseurs. Ce mouton, qui a la forme d'un parallélipipède rectangle surmonté d'un prisme triangulaire, dont les arêtes sont horizontales et perpendiculaires à la longueur du levier ; ce mouton est mobile, seulement dans le sens de sa hauteur, de manière à pouvoir transmettre la pression qu'il reçoit du levier à l'objet mis en expérience. Lorsqu'il n'y a pas d'objet mis sous le mouton, un petit boulon de fer le traverse dans son milieu, et l'empêche de tomber.

Connaissant le poids du mouton, celui du levier et du plateau, et la distance du point d'application de ce poids au centre de pression et à celui de rotation, on calculera la mesure du

premier effort produit par les élémens de la machine elle-même; considérant ensuite le poids mis dans le plateau, en multipliant ce poids par le rapport des distances du point de suspension du plateau et du centre de pression à l'axe de rotation du levier, on aura la mesure du deuxième effort produit par la charge employée. La somme de ces deux efforts donnera l'expression de la pression communiquée à l'objet dont on veut connaître la résistance. Cette résistance aura pour limite la charge sous laquelle il s'écrase ou change sensiblement de forme. La même machine peut encore servir à faire connaître la résistance que les corps opposent à la flexion. Pour cela, on y a adapté une espèce d'échafaud en fer H, très-solide, et destiné à supporter horizontalement le corps par ses extrémités, au moyen de traverses en fer I, droites ou courbées, qu'on pose dessus : le mouton porte alors sur le milieu de la longueur de la pièce mise en expérience.

On a fait différens changemens à cette machine. Je ne les rapporte pas, parce que chaque ingénieur peut de lui-même faire ceux qu'il jugera convenables, et que l'usage seul de la machine peut lui indiquer.

Cette machine fut inventée par M. Perronet qui la fit exécuter en 1758, à l'époque où il s'occupait du projet du pont de Neuilly, pour connaître la résistance absolue des pierres, des bois et des métaux employés dans les grandes constructions. M. Soufflot, habile architecte, s'en est également servi pour juger d'une manière exacte, la nature et la force des pierres qu'il se proposait d'employer à la construction de la nouvelle église de Sainte-Geneviève, à Paris. M. Gauthey en employa une semblable pour faire diverses expériences sur la résistance des pierres, qui sont consignées dans le journal de physique de l'abbé Rozier, année 1774.

Il paraît que les anciens n'avaient pas une grande connaissance sur la résistance des matériaux qu'ils employaient, à en juger par la grande épaisseur qu'ils ont donnée partout aux points d'appui de leurs édifices. La hardiesse des architectes du moyen âge, qui ont quelquefois fait porter des masses considérables sur des colonnes très-minces et très-élevées, pouvait faire penser qu'ils avaient étudié, sous ce rapport, les propriétés de la pierre. Mais il n'est resté aucune trace des recherches qu'ils ont pu faire; et d'après l'état des sciences dans les siècles barbares où ils ont travaillé, il est plus naturel de croire, dit M. Gauthey, qu'en cherchant, sans trop de réflexion, à enchérir de légèreté les uns sur les autres, ces architectes sont arrivés à des limites qu'il eût été possible de reculer encore. Mais cette marche est celle de tous les arts, c'est par une suite d'expériences qu'ils se perfectionnent. La grande diminution des piles des ponts n'est due qu'à cette succession d'expériences; c'est en tâtonnant, c'est en voulant enchérir les uns sur les autres, qu'on est parvenu au point où l'on est aujourd'hui. La science vient après, et détermine, par des formules, que la chose est faisable. On peut prévoir qu'on parviendra encore à enchérir sur la légéreté à donner aux piles et aux voûtes des ponts, puisque la théorie, appuyée sur de nouvelles expériences, cherche tous les jours à diminuer la quantité des matières employées dans la construction des ouvrages publics.

Je reviens aux observations de M. Gauthey sur les pierres. Leurs diverses qualités, telles que la dureté, la pesanteur spécifique, la couleur plus ou moins foncée, etc, ne sont pas propres à faire juger exactement de leur résistance, que l'on ne peut connaître, dans chaque cas, que par des expériences particulières. Les pierres dures, qui souvent sont composées de parties plus ou moins liées entr'elles, sont alors fragiles et se brisent avec beaucoup de facilité; et même parmi les pierres dures homogènes, celles que

les ouvriers nomment fières, et qui s'écrasent avec beaucoup de peine, n'ont besoin que d'une force peu considérable pour s'éclater, quand elles ne sont pas pressées bien également sur toute leur surface.

On peut distinguer dans les pierres, relativement à la manière dont elles cèdent aux pressions qu'elles éprouvent, deux qualités principales : les pierres dures, dont le grain est fin, l'agrégation homogène et compacte, se divisent avec bruit en lames ou en aiguilles verticales, avant de se réduire en poussière. Les pierres tendres, qui n'ont pas ces qualités au même degré, se divisent d'abord en pyramides qui ont pour bases les faces du solide et dont le sommet est au centre : les deux pyramides verticales écartent les autres en agissant comme des coins; elles se partagent toutes en petits prismes verticaux, et finissent par tomber également en poussière. Il est important d'avoir égard à la manière dont une pierre s'écrase, quand on veut juger exactement de sa qualité. Il est rare, en effet, que, dans les constructions, les pierres portent exactement sur toute la surface de leurs plans de joint. Elles sont donc exposées souvent à se fendre et à s'éclater; et une pierre dure peut s'éclater plus facilement qu'une pierre tendre, quoiqu'elle paraisse offrir une plus grande résistance, si on a seulement égard au poids qui est nécessaire pour écraser l'une et l'autre.

Il est également important de remarquer que, dans les expériences où on augmentait successivement la pression à laquelle les pierres étaient soumises, la plupart ont manifesté de légères fentes avant d'être chargées de tout le poids qui a été nécessaire pour les écraser. En laissant agir la charge pendant un ou deux jours, la pierre s'écrasait alors sous un poids moins considérable.

Je ferai encore une réflexion assez essentielle : c'est qu'il est rare que, dans l'exécution, la pression à laquelle les pierres sont

soumises, agisse dans une direction exactement perpendiculaire à la surface des plans de joint. Dans les voûtes et dans les murs de terrasse, par exemple, l'un des côtés de la pierre est toujours plus pressé que l'autre, il faut donc que la surface totale de la pierre soit assez considérable pour que l'effort qu'une seule de ses portions doit supporter, puisse cependant se répartir sur un assez grand espace. Il paraît, au surplus, qu'il est impossible d'établir aucune règle générale sur la proportion qui doit exister entre le poids porté par les pierres dans les expériences, et celui dont on peut les charger dans les constructions : cette proportion dépend évidemment de la nature de la pierre, et de la manière dont elle est employée.

On connaît un peu plus positivement l'influence de la figure des bases sur la résistance des solides de pierre. Les expériences qui ont été faites par M. Rondelet, dans la vue de reconnaître cette influence, ont démontré que divers solides, dont les bases avaient des aires égales, résistaient d'autant mieux, que leur figure approchait davantage du cercle, et en général que pour des figures peu différentes entr'elles, la résistance était à peu près en raison inverse du périmètre.

Lorsque la base des solides reste la même, la hauteur influe beacoup sur leur force. Une pierre très-mince se fend avec facilité; si elle a la forme d'un cube, elle porte un poids plus considérable ; mais, si la hauteur augmente, la force, qui d'abord augmentait aussi, finit par diminuer. Si un prisme vertical est divisé en plusieurs parties dans le sens de la hauteur, il résistera moins que s'il était d'une seule pièce, surtout si ses parties ont peu d'épaisseur.

DE LA BRIQUE.

La brique est une sorte de pierre plate, factice, de couleur rougeâtre, composée d'une terre grasse, pétrie et moulée en carré long, ensuite cuite au four pour lui faire prendre la consistance nécessaire : on lui donne communément huit pouces de long, quatre de large, et deux d'épaisseur.

La brique est aussi ancienne que l'art de bâtir; du moins, elle est entrée dans la construction des premiers monumens d'architecture dont l'histoire fasse mention; c'est le premier des matériaux solides que l'on y ait employés : son usage a passé dans tous les pays, et une grande partie des ponts, des quais des départemens méridionaux sont construits en brique.

La brique est à l'épreuve du feu; elle se trouve en abondance dans tous les pays, tandis que la pierre de taille est souvent très-rare.

Il serait donc à désirer que la construction en brique fut plus commune. A Paris, par exemple, où l'on va chercher, avec tant de peines et de dépenses, les pierres dans les entrailles de la terre, pour agrandir cette ville immense, et la suspendre en même-temps sur des abîmes, il conviendrait peut-être d'employer la brique pour toutes les constructions particulières, et de réserver la pierre pour les monumens publics et pour les palais des princes.

Le choix d'une bonne terre, sa préparation, sa cuisson parfaite, sont des conditions très-essentielles pour faire des briques dont on puisse tirer toute l'utilité désirable.

La terre à brique est, en général, l'argile. Si cette terre est savonneuse, douce et trop forte, il faut y mêler du sable pour l'amaigrir, autrement les briques que l'on en fabriquerait se tourmenteraient au feu, perdraient leur forme, et ne seraient plus propres aux paremens des maçonneries.

La nature offre partout des veines d'argile très-propres à faire la brique. En quelques endroits, on emploie de purs *accolins*, ou atterrissemens de rivières qui se sont endurcis après un certain nombre d'années. Mais partout, avec du soin et de l'intelligence, on peut faire d'excellentes briques, en écartant soigneusement les parties métalliques et pyriteuses en gros grains : les unes se brûlent, les autres se vitrifient, et il en résulte des vides qui altèrent la brique.

Avant de passer à la cuisson, il faut préparer la terre, la détremper, la battre, et enfin, la bien corroyer.

On doit extraire la terre à la fin de l'automne, et la laisser passer l'hiver exposée aux gelées et aux pluies, afin que toutes les parties s'amalgament, et qu'elles acquièrent cette uniformité qui lui est si nécessaire.

Après l'hiver, la terre, déjà humectée et pourrie, comme disent les briquetiers, est devenue plus facile à détremper. On la détrempe en la mouillant avec de l'eau, en la pétrissant avec les pieds, et en revenant à plusieurs reprises à cette opération, jusqu'à ce qu'elle soit en état d'être employée par le mouleur; et cet état a lieu lorsque la terre a acquis beaucoup d'homogénéité, lorsque toutes ses parties sont atténuées, et qu'enfin elle est assez ductile pour prendre la forme qu'on veut lui donner. C'est de cette préparation que dépend la bonne qualité de la brique; c'est par la même raison que les mortiers, les plâtres, les cimens doivent être pétris pour insinuer l'eau dans toute leur masse, pour bien amalgamer les différens ingrédiens qui les composent, et pour les rendre propres à devenir d'autant plus solides et plus durs que la matière aura été réduite en parties plus déliées.

Il faut que presque toute l'eau soit évaporée de la brique, avant la cuisson. Il doit donc être inutile, s'il n'est pas nuisible,

d'y en faire trop entrer. En général, il vaut mieux épargner l'eau que les bras et le temps.

S'il est très-essentiel de bien corroyer la terre dont on va faire la brique, il ne l'est pas moins que cette terre soit bien cuite; le feu est l'agent principal qui en unit les parties.

On reconnaît que les briques sont bonnes à être cuites, quand, en en cassant quelques-unes, on aperçoit à la couleur qu'il n'y a plus d'humidité.

On fait cuire les briques avec du charbon de terre ou avec du bois. La meilleure manière, et la plus économique, est celle du charbon de terre. Il faut vingt à vingt-cinq jours pour cuire au four quatre cents milliers de briques.

Le degré de cuisson qui convient à ces matériaux, est celui qui résulte de la plus grande chaleur que leur matière puisse soutenir sans se vitrifier.

Le caractère de la meilleure brique est d'être très-sonore sans être brûlée. Les briques brûlées ressemblent plus ou moins à du mâche-fer ou autres scories des matériaux ; elles sont luisantes dans toute leur cassure, et donnent du feu sous les coups du briquet : toutefois elles peuvent servir dans les constructions, en évitant de les placer aux paremens des édifices. On juge, au contraire, que celles qui s'écrasent sous le marteau, et qui rendent un bruit sourd quand on les frappe, sont peu cuites.

Il est très-essentiel que la brique soit mouillée en sortant du fourneau. Quand elle ne l'a pas été, elle aspire l'humidité du mortier qui alors ne prend point corps, et tombe en poussière.

On doit présumer qu'en observant toutes ces règles, on pourrait parvenir à faire de la brique aussi bonne que celle des anciens.

DE LA PRÉPARATION DE LA CHAUX.

Pour construire un four à chaux, on commence par jeter des fondemens solides qui embrassent un espace de douze pieds en carré; on élève ensuite sur ses fondemens la partie de l'édifice, qu'on nomme proprement le four ou la tourelle. A l'extérieur, la tourelle est carrée, et ce n'est qu'une continuation des murs dont on a jeté les fondemens; ces murs doivent avoir une épaisseur capable de résister à l'action du feu qu'on doit y allumer à l'intérieur. La tourelle a la figure d'un sphéroïde allongé, tronqué par ses deux extrémités; elle a 12 pieds de hauteur, 4 pieds et demi de diamètre au débouchement qui est sur la plate-forme, c'est-à-dire, à la distance de 9 pieds au milieu, et 6 pieds au fond. On unit la maçonnerie des quatre pieds droits avec celle de la tourelle; on pratique un trou d'un pied de diamètre, qui répond au milieu d'une petite voûte de 4 à 5 pieds de hauteur sur 2 pieds de largeur, ouverte des deux côtés du nord et du sud, et descendant au-dessous du niveau du terrain de 6 à 7 pieds: on appelle cette voûte l'ébraisoir. Pour pénétrer dans l'ébraisoir, on déblaie la terre de deux pieds à son entrée, en pente douce, et dans une largeur convenable, et on élève toute cette terre en glacis, afin de pouvoir monter facilement au haut de la plate-forme. Depuis le rez-de-chaussée jusqu'au haut de la plate-forme, on pratique une petite porte cintrée de 5 pieds de hauteur sur 2 de largeur, pour entrer dans la tourelle.

Le four étant ainsi construit, on amasse à l'entour les pierres qu'on se propose de convertir en chaux; on choisit les plus grosses et les plus dures, et l'on forme, au centre de la tourelle, une espèce de voûte sphérique de 6 pieds de hauteur, laissant entre chaque pierre un intervalle de deux ou trois pouces.

Autour de cet édifice, on place d'autres pierres, et l'on continue de remplir la tourelle, en observant de placer toujours les plus grosses et les plus dures le plus proche du centre, et les plus petites et les moins dures sur des lignes circulaires plus éloignées, et ainsi de suite; en sorte que les plus tendres et les plus petites touchent la surface convexe de la tourelle. On achève le comblement de la tourrelle avec de petites pierres environ de la grosseur du poing, qui proviennent des éclats qui se sont faits en tirant la pierre de la carrière, ou qu'on brise avec la masse ; on maçonne ensuite grossièrement en dehors la porte de la tourelle à hauteur d'appui, en sorte qu'il ne reste plus que le passage d'une botte de bruyères, qui a ordinairement 18 pouces en tous sens ; on finit ce travail par élever autour d'une partie de la circonférence du débouchement, une espèce de mur en pierres sèches, du côté opposé au vent : après quoi, il ne reste plus qu'à y mettre le feu.

DE LA CHAUX.

La pierre calcaire est opaque, grenue, d'un blanc jaunâtre : elle renferme souvent des coquilles ; elle n'est point susceptible de poli; elle est insoluble dans l'eau.

Plusieurs naturalistes pensent que la pierre calcaire doit sa solidité et la cohérence des ses parties à une espèce de cristallisation spathique, qui a cimenté ensemble les débris des corps organisés soumarins, auxquels elle doit son origine.

Les caractères extérieurs de la pierre calcaire en général sont de ne point faire feu avec le briquet, de faire effervescence avec les acides, de devenir chaux vive par la calcination, d'absorber une certaine quantité d'eau quand on l'humecte, de prendre la consistance de pâte sans avoir jamais la ductilité de l'argile, et de se désunir en séchant.

Au chalumeau, cette pierre se calcine, devient chaux, et acquiert la propriété de se dissoudre dans l'eau.

Les marbres ont pour base la terre calcaire, mais mêlée d'argile et de chaux de fer, excepté les marbres blancs qui sont d'une seconde formation.

Si l'on verse une grande quantité d'eau sur de la chaux vive, il se produit un degré de chaleur considérable avec gonflement et bouillonnement, le calorique qui, pendant la calcination, s'est combiné avec la chaux, se dégage, échauffe l'eau, et la réduit en vapeur. Nous avons vu plus haut la disposition du four et l'arrangement des pierres préparées pour être cuites. Les choses ainsi disposées, on brûlera un quarteron ou deux de bruyères pour faire ressuyer la pierre. Cinq à six heures après, on commencera à chauffer en règle : pour cet effet, le chaufournier dispose, avec la fourche, sur l'âtre de la tourelle, une douzaine de bottes de bruyères, il y met le feu, et lorsqu'elles sont bien enflammées, il en prend une treizième qu'il place à la bouche du four, et qui le remplit exactement; le feu poussé par l'action de l'air extérieur qui entre par les portes de l'ébraisoir, se porte dans la tourelle par la lunette pratiquée au centre de son âtre, saisit la bourrée placée sur la bouche du four, coupe son lien, et l'enflamme : alors le chaufournier la pousse dans l'âtre avec son fourgon, l'éparpille, et en remet une autre, sans interruption de mouvement, à l'embouchure du four qu'elle ferme, comme la précédente; le feu atteint pareillement celle-ci et la délie, et le chauffeur, avec son fourgon, la pousse pareillement dans la tourelle, et l'éparpille sur son âtre; il continue cette manœuvre avec un de ses camarades qui le relaie pendant douze heures ou environ, jusqu'à ce qu'ils aient consumé douze à quinze bottes de bruyères. On connaît que la chaux est faite, quand il s'élève audessus du débouchement de la plate forme, un cône de feu de

10 à 12 pieds de haut, vif et sans presque aucun mélange de fumée, et qu'en examinant les pierres, on leur remarque une blancheur éclatante.

On reconnaît que la chaux est bien cuite, si la pierre est devenue d'un tiers plus légère après la calcination, si elle est sonore quand on la frappe, et si elle bouillonne immédiatement après avoir été arrosée.

Il y a deux espèces de fours à chaux : les uns sont à grande et vive flamme ; on y brûle du bois, des bruyères, des genêts, du chaume, etc. : les autres ont un feu modéré et moins flambant, qu'on entretient avec la tourbe, la houille et toute autre espèce de charbon fossile, entremêlé par couche avec des pierres.

Les maçons éteignent la chaux dans de larges creux qu'ils nomment fourneaux ; ils versent de l'eau dessus, agitent la chaux avec des perches terminées par une espèce de masse ; lorsque ce mélange est en consistance de bouillie, ils le font couler dans de grands creux qu'ils couvrent pour préserver la chaux d'une trop grande humidité.

La chaux réduite en pâte avec de l'eau ne prend point de consistance en se désséchant ; mais si on la mêle avec trois parties de recoupes calcaires, il en résulte une pierre solide ; si, au lieu d'employer de la pierre grossièrement divisée, on a fait usage de marbre blanc en poudre, on obtient un stuc calcaire susceptible de poli ; si l'on mêle du sable avec la chaux éteinte, il en résulte le mortier.

J'ai cru devoir donner tous ces détails sur la nature de la chaux et sa cuisson ; un ingénieur ne peut être trop instruit sur ces objets ; c'est de l'ensemble des bons matériaux que dépendent les bonnes constructions.

On appelle pouzzolane un sable d'un rouge de brique, admirable pour bâtir, et qu'on tire du territoire de Pouzzole, en Ita-

lic, près de Naples : on dit qu'on en trouve aussi en Auvergne. C'est un mélange de parties sableuses, terreuses et ferrugineuses, endurcies, liées et accrochées ensemble, jusqu'à la grosseur d'un pois, et desséchées par des feux souterrains. On s'en sert avec le plus grand avantage, pour construire dans l'eau. On y joint parties égales de sable, et quatre à cinq parties de chaux; on étend le mélange dans une grande quantité d'eau, et on l'emploie aussitôt; car la pouzzolane a la propriété de se durcir aussi promptement que la pierre à plâtre calcinée et fusée. On peut regarder ce sable comme une matière volcanique, produite par les feux des volcans qui ont ravagé le territoire de Pouzzole.

DE LA GLAISE.

La glaise est une terre grasse qui, étant pétrie, sert à faire de la brique, des tuiles, etc. On s'en sert aussi pour retenir l'eau dans les bassins, réservoirs, batardeaux, etc. La meilleure doit être d'une couleur bleuâtre, d'un grain fin, douce au toucher, sans mélange de marne et autres terres.

C'est à la propriété qu'a la glaise de retenir les eaux et de ne point leur donner de passage, que sont dues la plupart des sources et des fontaines que nous voyons sortir de la terre. Les eaux de pluie, lorsqu'elles sont tombées sur la terre, se filtrent au travers des couches de sable et de gravier, et continuent à passer jusqu'à ce qu'elles se trouvent arrêtées par des couches de glaise; alors elles s'y amassent, et vont s'écouler par la route la plus commode qui leur est présentée.

DU MORTIER.

Le mortier est le mélange de la chaux avec du sable, du ciment ou d'autre poudre; c'est de cet alliage que dépend toute la bonté de la construction, et ceux qui sont chargés de faire bâ-

tir, ne peuvent trop prendre de soins, ni trop surveiller eux-mêmes la manière de faire le mortier que les maçons doivent employer.

Il ne suffit pas, pour faire de la bonne chaux, de la bien éteindre, et de la mêler avec du bon sable, il faut encore proportionner la quantité de l'une et de l'autre à leurs qualités, les bien broyer ensemble, lorsqu'on est sur le point de les employer. Les anciens maçons, selon Félibien, étaient si attentifs à cet article, qu'ils employaient constamment, pendant un long espace de temps, dix hommes à chaque bassin, ce qui rendait le mortier d'une dureté si prodigieuse, que Vitruve nous assure que les morceaux de plâtras qui tombaient des anciens bâtimens, servaient à faire des tables, et cette dureté provient de la manière dont ce mortier avait été corroyé avec le rabot.

La qualité de sable contribue beaucoup aussi à la bonté du mortier : un sable fin paraît devoir s'incorporer beaucoup mieux avec la chaux qu'un sable grossier ou un gravier, parce que les pierres qui composent ce dernier, doivent nuire à la liaison intime de ce mortier.

La dose de sable avec la chaux est ordinairement de moitié; mais on peut mettre trois cinquièmes de sable sur deux de chaux, et quelquefois deux tiers de sable sur un de chaux, selon qu'elle est plus ou moins grasse, et c'est assez l'avis de Vitruve, qui prétend que le meilleur mortier est celui où il y a trois parties de sable de cave, ou deux de sable de rivière ou de mer, contre une de chaux; et il sera encore meilleur, ajoute-il, si, à ce dernier, on ajoute une partie de tuileau ou ciment.

Toute sorte de sable n'est pas également bon; le plus blanc, dans lequel il n'y a que peu ou point du tout de vitriol, ne vaut rien; mais on doit prendre du sable qui ait quelque couleur, dans lequel il se trouve beaucoup de vitriol : il y a, par conséquent, beaucoup

de sel acide dans ce sable. Il se trouve, dans la chaux, un sel alkali : lorsqu'on détrempe le sable et la chaux avec l'eau, ces deux différentes sortes de sel se fondent quelque temps après, et forment, par leur mélange, un sel neutre ; mais venant en même temps à se séparer des parties terrestres, tant du sable que de la chaux, ces parties ne restent plus liées entr'elles, et elles se trouvent, par conséquent, réduites en une matière beaucoup plus fine. Il arrive de là, que ces parties, qui étaient auparavant plus grossières, et qui, ayant de longues pointes, se trouvaient fort éloignées les unes des autres, se rapprochant mutuellement après être devenues plus menues, elles se touchent en de plus grandes surfaces et en un plus grand nombre d'endroits. Une autre chose qui arrive encore dans cette occasion, c'est que les pores qui sont ouverts, se remplissent d'eau et de sel. Dès que ce contact se fait en plusieurs endroits, et que l'eau et le sel qui étaient en trop grande quantité, pénètrent dans la pierre et se dissipent par dehors, le mortier qui se trouve entre les deux pierres, et qui remplit leurs pores proche de la surface, commence à se lier fortement avec elles, et à n'en former bientôt après que comme un seul et même corps.

M. Shaw, célèbre voyageur anglais, observe que les habitans de Tunis et des côtes de Barbarie bâtissent, de nos jours, avec la même solidité que les Carthaginois; le mortier qu'ils emploient est composé d'une partie de sable, de deux parties de cendre de bois, et de trois parties de chaux : on passe ces trois substances au tamis, on les mêle bien exactement, on les humecte avec de l'eau, et on gâche ce mélange pendant trois jours et trois nuits consécutives sans interruption, pour que le tout s'incorpore parfaitement, et pendant ce temps, on humecte alternativement le mélange avec de l'eau et avec de l'huile; on continue à remuer le tout jusqu'à ce qu'il devienne parfaitement homogène.

Je crois que c'est ici le lieu de parler du mortier-ciment de Loriot.

Cet homme ingénieux, ayant examiné que la plupart des masses énormes en épaisseur et en élévation, qui nous restaient des Romains, n'étaient formées que par des pierrailles et du cailloutage liés ensemble par un mortier qui paraît avoir été assez liquide pour s'insinuer dans les moindres interstices, et ne former qu'un tout de cet amas de matières, soit que ces matières aient été jetées dans un bain de ciment ou de mortier, soit qu'arrangées d'abord, on l'ait versé sur elles ; cet homme, dis-je, imagina que la solidité de cette construction consistait dans l'emploi de ce mortier, qui n'est sujet à aucune dissolution, et dont la ténacité est si grande, qu'il résiste aux coups redoublés du pic et du marteau.

Les propriétés principales du mortier des Romains sont 1° d'être impénétrables à l'eau ; 2° de passer très-promptement de l'état de liquide à une consistance très-dure ; 3° d'acquérir une ténacité étonnante, et de la communiquer aux moindres cailloutages qui en sont imprégnés ; 4° enfin, de conserver toujours le même volume sans retrait ni extension.

Il est certain que l'intermède de la chaux vive en poudre dans toute sorte de mortier et de ciment qui se font avec de la chaux éteinte, est le plus puissant moyen pour obtenir un mortier inaltérable : voilà la base de la découverte de M. Loriot, en voici quelques conséquences. Dès que, par le résultat de l'expérience, les deux chaux se saisissent et s'étreignent si fortement, l'on conçoit qu'elles peuvent aussi embrasser et contenir d'autres substances que l'on y introduirait, les serrer et faire corps avec elles, selon la convenance plus ou moins grande de leurs surfaces, et par là augmenter le volume de la masse que l'on veut employer.

Les corps étrangers, reconnus jusqu'ici pour les plus convenables à introduire dans le mortier, sont le sable et la brique pilée. Prenez donc, pour une partie de brique pilée exactement et passée au sas, deux parties de sable fin de rivière passé à la claie, de la chaux vieille éteinte en quantité suffisante, pour former dans l'auge, avec l'eau, un amalgame à l'ordinaire, et cependant assez humecté pour fournir à l'extinction de la chaux vive que vous jetterez en poudre jusqu'à concurrence du quart en sus de la quantité de sable et de brique pilée, pris ensemble : les matières étant bien incorporées, employez-les promptement, parce que le moindre délai peut en rendre l'usage défectueux ou impossible.

Un enduit de cette matière, sur le fond et les parois d'un bassin, d'un canal et de toutes sortes de constructions faites pour contenir et surmonter les eaux, opère l'effet le plus surprenant, même en les mettant en petite quantité.

La poudre de charbon de terre, en quantité égale à celle de chaux vive, s'incorpore parfaitement, et la substance bitumineuse du charbon est un obstacle de plus à la pénétrabilité de l'eau.

Le mélange de deux parties de chaux éteinte à l'air, d'une partie de plâtre passé au sas, et d'une quatrième partie de chaux vive, forme, par l'amalgame qui s'en fait, un enduit très-propre pour l'intérieur des bâtimens, et qui ne se gerce point. Ces mortiers doivent être préparés par rangées.

Si on ne peut avoir de la brique pilée pour les ouvrages destinés à recevoir l'eau ou à la contenir, on peut y suppléer, en faisant des pelottes de terre franche, qu'on laissera sécher, et qu'on fera cuire ensuite dans un four à chaux. Ces pelottes, aisément réduites en poudre, valent la brique pilée.

Un tuf sec et pierreux, bien pulvérisé et passé au sas, peut remplacer et le sable et la terre franche ; il serait même à

préférer, à cause de sa légèreté, pour les ouvrages qu'on voudrait établir sur une charpente.

Toutes les matières, telles que la poudre de charbon de bois, les vitrifications des fourneaux des forges, les scories, les mâchefers, et en général, toutes celles qui sont imprégnées des substances métalliques altérées par le feu, peuvent entrer dans la composition de ce mortier, et le mélange d'un quart de chaux en poudre, comme je l'ai déjà indiqué, est, en général, la portion convenable, observant que, si la chaux est nouvellement cuite, et qu'elle soit parfaite dans la calcination, comme dans la composition de la pierre, il en faudra un peu moins; et plus, à proportion qu'elle s'en éloignera.

Si on met trop de chaux en poudre, elle se combinera mal en mortier, se brûlera, et tombera en poussière; si elle est inondée, à mesure que l'eau superflue se dessèchera, le mortier ou ciment se gercera : un peu de pratique instruira mieux l'ouvrier que les plus grands détails.

Depuis la découverte de M. Loriot, d'autres personnes zélées pour les progrès des arts, se sont occupées du même objet, et ont cherché dans les matières qu'elles avaient, pour ainsi dire, sous la main, celles qui étaient le plus propres à remplir leurs vues.

M. Smith, surtout, s'empara des galets, qu'on trouve en très-grande quantité aux bords de la mer sur les côtes d'Angleterre et de Boulogne. Les falaises composées d'une argile noirâtre tirant sur le bleu, en renferment un nombre considérable : ces pierres dures et pesantes sont de diverses grosseurs, et pèsent depuis une once jusqu'à vingt quintaux; leur forme et leur couleur sont très-variées.

M. Smith a fait avec ces pierres un mortier, auquel il a donné le nom de *ciment romain*, parce qu'il réunit toute les qualités qu'on admire dans le ciment dont se sont servis les Romains.

On fait cuire ces pierres ; et lorsqu'elles sont calcinées, ainsi que la chaux ordinaire, et qu'elles sont refroidies, on les réduit en poudre, soit par le battage, soit par le moyen d'un moulin.

Lorqu'on veut s'en servir, on doit y ajouter, peu à peu une assez grande quantité d'eau, ayant soin de le broyer et de le gâcher, à différentes reprises, avec une spatule ou truelle; plus il aura été remué, et plus il acquerra de solidité. On ne doit en faire à la fois que la quantité que l'on peut employer tout de suite; car, sans cette précaution, il durcirait : ce qui a lieu au bout de dix minutes ou d'un quart-d'heure; si on était obligé d'y ajouter une seconde fois de l'eau, on diminuerait considérablement sa force. On peut employer ce ciment avec succès dans les constructions hydrauliques; il ne s'amollira et ne se détachera point; mais il durcira, au contraire, très-promptement. Cette qualité le rend extrêmement utile dans la construction des piles des ponts, des quais, des bassins, etc.

Les essais de M. Smith, pour son mortier de ciment, peuvent être appuyés par le résultat des expériences faites par M. Boistard, en ce que le mortier de ciment acquiert bien plus de dureté sous l'eau que le mortier de sable, en un temps donné égal. Il résulte de l'expérience faite par M. Boistard, que deux pierres, dont la surface de la base était de 0,0469 mètres carrés, ayant été fichées le même jour, l'une en mortier de ciment, et l'autre en mortier de sable, et descendues aussitôt sous l'eau, on a éprouvé, seize mois après, qu'un poids de $56^k, 29^c$ a suffi pour détacher la seconde, qui pesait $16^k, 15^c$, et où le mortier était aussi mou qu'au moment de l'emploi; tandis qu'un poids de 490 kilogrammes n'a pas suffi pour détacher la première qui pesait le même poids, et où le mortier de ciment était excessivement dur.

Parmi le grand nombre de recherches qui ont été faites par différens Architectes et Ingénieurs, sur la meilleure composition

des cimens propres aux constructions hydrauliques, on ne doit pas oublier celles de M. Sméaton.

Pour marcher avec ordre dans ses recherches, M. Sméaton se proposa et résolut les questions suivantes :

1° Quelle est la différence de la chaux tirée des pierres de qualités différentes, sous le rapport de la dureté qu'elle procure au mortier?

La craie et le marbre offrent à peu près les deux extrêmes en dureté, parmi les espèces calcaires; et la chaux, faite avec des pierres si différentes sous ce rapport, parut identique sous celui de la dureté qu'elle procurait au mortier ou ciment fait avec le trass. Cette opinion, qui n'est point celle des ouvriers, s'accorde avec l'expérience du docteur Hyggins, qui n'était dirigée que vers l'usage de la chaux dans le mortier ordinaire.

2° Quelle est, toutes choses égales, l'influence de l'eau salée dans la composition du mélange?

L'expérience prouva à M. Sméaton, que, s'il y a une influence, elle est plutôt à l'avantage de l'eau salée.

3° Y a-t-il de l'avantage, comme le croient les ouvriers, à battre de nouveau le mortier ou ciment déjà bien mélangé?

Les essais de M. Sméaton lui prouvent que, dans le mortier de trass, à parties égales, la différence n'est pas sensible ; que, lorsque la quantité de chaux est double de celle de trass, il y a quelque avantage à rebattre le mélange à plusieurs reprises : cet avantage est surtout marqué dans la composition du mortier ordinaire, lorsque la proportion de chaux y prédomine.

La chaux faite avec des coquillages parut donner un très-bon mortier, à elle seule, sans mélange de sable, trass ou autre matière étrangère.

La chaux la plus pure est celle qui profite le plus, parce qu'elle peut recevoir plus de sable dans le mortier, et que le sable est l'ingrédient qui coûte le moins des deux.

Le trass avec la chaux fait un bon ciment pour le cas où les constructions doivent être constamment sous l'eau ; mais dans ceux où elles sont à l'air, exposées seulement aux alternatives ordinaires qu'amènent les saisons, ni le ciment de trass, ni le mortier ordinaire ne résistent long-temps. M. Sméaton donne, à cette occasion, la recette d'une composition qu'il tenait de milord Macclesfied, et qu'on nommait *mortier de cendres.* On prend deux parties de chaux très-vive et trois de cendres de bois, mesurées en volume ; on fait en terre un creux rond, dans lequel on met les cendres, et au milieu d'elles, la chaux qu'on fait éteindre en l'arrosant sur place, et qu'on mêle bien avec les cendres ; on laisse refroidir le tout, et on le bat ensuite à deux ou trois reprises avant de s'en servir. Ce mortier est préféré par les ouvriers maçons à celui de trass, pour supporter l'alternative de sécheresse ou d'humidité.

Comme quelques détails sur la maçonnerie de béton ne peuvent manquer d'intéresser ceux qui n'en ont pas l'usage, et qui pourraient se trouver dans le cas de l'employer, voici des expériences fort exactes, faites à Toulon, sur la quantité de matériaux de chaque espèce qui entrent dans une toise cube de cette maçonnerie, leur poids, le temps qu'il faut pour la faire et la plonger dans l'eau, entre dix et dix-huit pieds de profondeur.

Pour remplir une fondation qui contenait 16 toises cubes, l'on a employé, savoir :

942 pieds cubes de pouzzolane rouge, à 90 livres le pied, pesant ensemble. . . . . 84780.

471 pieds cubes de sable, à 115 livres, pesant ensemble 54165.

1020 pieds cubes de recoupes de pierres, à 110 livres, 112200.

235 pieds cubes de mâchefer concassé, à 80 livres, pesant ensemble. . . . . 18800.

706 pieds cubes de chaux vive concassée, pesant chacun 76 livres, et ensemble . . . . 53656.

618 pieds cubes de pierres, à 160 livres chaque, ensemble . . . . 98880.

Total, 3992 pieds cubes de maçonnerie, pesant ensemble . . . . 422481.

L'on voit que pour faire 16 toises cubes de maçonnerie de béton, l'on a employé 3992 pieds de matière, quoique ces 16 toises ne contiennent que 3456 pieds de solide ; ainsi, la différence est de 536 pieds cubes, provenant du vide qui était entre les diverses parties des matières qu'on a employées ; sur quoi il faut remarquer qu'on a souvent vérifié que 2 pieds de sable grené, incorporés avec un pied de chaux éteinte, ne produisaient guères que 2 pieds cubes de mortier, d'où il suit que, par rapport au volume des matériaux employés dans la maçonnerie, l'on peut, au besoin, faire abstraction de celui de la chaux.

Le tas de béton étant à la distance de quatre toises réduites de l'encaissement, et les matériaux pour le doser à six toises de l'atelier, il a fallu trente hommes employés pendant douze jours, chacun de huit heures de travail, pour former les 16 toises cubes de maçonnerie de béton, savoir : soixante-douze heures pour faire le béton et le mettre en tas, et vingt-quatre pour le piocher, en remplir la caisse, et le plonger, ainsi que la pierre.

Nous ne pouvons nous dispenser de parler ici des recherches faites récemment sur les mortiers par M. Vicat, ingénieur des ponts et chaussées. L'objet de ce travail est de la plus haute importance, puisque la solidité des édifices de toute nature, et particulièrement des constructions hydrauliques, dépend du degré de dureté que peuvent acquérir les mortiers ou cimens employés pour lier entr'eux les matériaux de ces édifices.

On sait, dit M. Girard, ingénieur en chef des ponts et chaussées, membre de l'Académie royale des sciences, qu'il existe une distinction entre les pierres à chaux. Quelques-unes de ces pierres, susceptibles de se dissoudre en entier dans les acides, augmentent du double ou du triple de leur volume, lorsqu'après leur calcination on en forme une pâte avec l'eau ; quelques autres, que les acides ne dissolvent qu'en partie, donnent une chaux dont le volume n'augmente que peu ou point à l'extinction ; ce sont les *chaux grasses* et les *chaux maigres*, suivant leurs désignations vulgaires ; et comme une quantité donnée de pâte de chaux doit, conformément aux règles-pratiques de la fabrication du mortier, être mêlée avec le sable dans une proportion constante ; on conçoit comment il est plus avantageux, pour les constructions, d'employer de la *chaux grasse* que de la *chaux maigre*, et comment, par cela même, l'usage de la première a dû se répandre généralement, tandis que la seconde a dû être rejetée, comme étant de qualité inférieure.

Sméaton a trouvé que la *chaux maigre* étant mélangée avec le sable ordinaire seul, peut former un mortier hydraulique, presque d'aussi bonne qualité que celui que l'on composerait de *chaux grasse* et de pouzzolane. Il trouva qu'on en formait un excellent, en corroyant ensemble deux parties en volume de chaux maigre éteinte, une de trass ou de pouzzolane, et trois de sable pur, ce qui donne environ trois mesures et demie de mortier hydraulique.

Le docteur anglais Hyggins, a trouvé que le meilleur mortier était composé de quatre parties de gros sable, de trois parties de sable fin, et d'un peu plus d'une partie de chaux.

M. Rondelet reconnut que, six mois après avoir scellé l'une à l'autre, avec du mortier, des surfaces dont chacune était un carré de six centimètres de côté environ, il fallait employer, pour

détacher deux pierres de liais, un effort de 31 kilogrammes, tandis que, pour détacher deux tuiles de Bourgogne, il fallait en employer un de 69; l'adhérence du mortier avec les diverses pierres de taille tirées des carrières de Paris, et même avec la meulière, était entre ces deux limites.

Suivant Descotils, la condition essentielle pour qu'une pierre calcaire fournisse de bonne chaux maigre, est qu'elle contienne une grande quantité de matière siliceuse disséminée en particules très-fines; car il semble peu probable, dit ce chimiste, que les très-faibles proportions d'alumine, de magnésie et d'oxide de fer, qui peuvent s'y trouver, aient une influence remarquable sur ses propriétés.

Toutes les recherches faites jusqu'à présent sur les mortiers hydrauliques, portent, ou sur l'espèce de chaux que l'on doit employer dans la fabrication et la manière d'y suppléer, ou sur la substitution de quelques matières indigènes aux pouzzolanes étrangères, ou bien enfin sur les causes de l'endurcissement plus ou moins rapide de ces préparations, soit à l'air libre, soit pendant leur immersion sous les eaux. M. Vicat s'est proposé de résoudre ces diverses questions.

Cet ingénieur observe que la chaux maigre a la propriété de prendre corps sous l'eau, et d'être, par-là, essentiellement propre aux constructions hydrauliques. La chaux grasse, dit-il, submergée sous un volume d'eau surabondant, en absorbe, pour s'éteindre, deux fois et demie à trois fois et demie son poids; la seconde, placée dans la même circonstance, n'absorbe guère, pour son extinction, que la moitié moins d'eau.

La chaux maigre réduite en bouillie liquide, et immergée ensuite, rejette une partie de l'eau qu'elle contient; elle en absorbe, au contraire, une nouvelle quantité, si, au lieu d'être réduite en bouillie liquide, on l'a amenée, par l'extinction, à l'état de

pâte ferme. Il existe donc entre ces deux extrêmes un degré de consistance pâteuse dans lequel il n'y a ni rejet, ni absorption d'eau : ainsi, les principes qui constituent les chaux maigres ou hydrauliques, tendent à s'unir chimiquement par l'intermède d'une quantité déterminée d'eau qui passe à l'état solide ; elles n'ont pas besoin, par conséquent, pour durcir, du contact de l'air, et de la dessication qui en est la suite.

Les chaux communes ou grasses, saisissant, au contraire, dans les mêmes circonstances, beaucoup plus d'eau qu'elles n'en peuvent solidifier, et n'ayant point la faculté de rejeter celle qui leur est superflue, restent constamment à l'état de pâte molle, non-seulement sous l'eau, mais encore dans les bassins imperméables, où on les a tenues couvertes de terre ou de sable.

Il reste encore quelque incertitude sur les meilleures proportions de la silice et de l'alumine dans la formation de la chaux maigre, et M. Vicat annonce s'être assuré par des essais multipliés, que la présence des oxides de fer et de manganèse n'est pas indispensable.

Cet auteur s'est proposé de former artificiellement les substances propres à la fabrication des chaux maigres. Il a laissé se réduire à l'air en poudre fine la chaux ordinaire qu'il se proposait de modifier ; cette poudre a été ensuite pétrie, à l'aide d'un peu d'eau, avec de l'argile grise ou brune, ou même de la terre à brique ; on a formé de ce mélange pâteux, des boules que l'on a soumises à une seconde calcination. C'est ce produit qui, étant employé comme la chaux naturelle, jouit éminemment de la propriété de composer des cimens hydrauliques. Ici, M. Vicat s'attache à montrer, et il est aisé de le concevoir, qu'un mélange de chaux grasse et d'argile, cuites séparément, ne jouissent point de cette propriété ; elle est due uniquement à une modification que l'action du feu fait éprouver à ces substances dans

leur contact pendant leur calcination commune. Il a découvert de plus que la pierre à chaux maigre de Montélimart, dans laquelle la silice se trouve à l'état de molécules impalpables, devenait, par la calcination, éminemment hydraulique, tandis que la pierre à chaux maigre de Calviac, où la silice se trouve à l'état de sablon grenu, n'acquiert point la propriété de prendre corps dans l'eau.

Pendant la cuisson de la pierre à chaux, le feu développe intérieurement une teinte foncée, tantôt noire, tantôt grise, bleuâtre ou verdâtre, à laquelle succède le blanc ou le fauve, qui sont les couleurs ordinaires de la chaux cuite à un degré convenable. L'épreuve qui le détermine est l'extinction : la chaux doit, pour être bien cuite, fuser promptement et complètement dans l'eau. Lorsqu'on outre-passe le terme ordinaire de la calcination, elle devient paresseuse ; c'est-à-dire, qu'elle acquiert la propriété de rester plusieurs heures, et quelquefois un jour ou deux dans l'eau sans s'éteindre.

Il existe trois procédés distincts pour éteindre la chaux. Celui communément usité, consiste à mettre les morceaux de chaux vive dans un bassin creusé sur le sol, et à les couvrir d'une quantité d'eau surabondante, de manière à en former, par la trituration du rabot, une espèce de fluide laiteux. Les chaux grasses peuvent acquérir ainsi un volume plus que triple, tandis que celui de certaines chaux maigres n'augmente que d'un cinquième.

Le second procédé consiste à plonger la chaux vive pendant quelques secondes dans l'eau, d'où on la retire avant qu'elle commence à fuser; elle répand des vapeurs brûlantes, et se réduit en une poudre qui, susceptible de se conserver long-temps à l'abri de l'humidité, ne s'échauffe plus quand on la détrempe. Un kilogramme de *chaux grasse*, éteinte ainsi par immersion,

ne retient communément que 180 grammes d'eau ; tandis que les chaux maigres peuvent en retenir jusqu'à 350 grammes. Les phénomènes se présentent, comme on voit, en sens inverse de ceux que manifeste ces deux espèces de chaux quand on les éteint de la manière ordinaire.

Le troisième procédé d'extinction de la chaux se réduit à la laisser fuser librement par l'action lente et continue de l'atmosphère. Il s'en dégage un léger degré de chaleur sans vapeurs visibles. Si l'on réduit en pâte d'égale consistance un kilog. des deux espèces de chaux éteintes à l'air, on trouve que la chaux grasse exige environ un kilog. et demi d'eau, tandis que la chaux maigre n'en exige que 700 grammes environ. Des expériences multipliées ont prouvé à M. Vicat qu'on peut obtenir par ces trois procédés d'extinction, des pâtes d'égale consistance avec un poids donné de chaux grasse et de chaux maigre, en employant des quantités d'eau bien différentes. Il a observé que des hydrates de chaux grasse avaient une dureté décroissant successivement, selon qu'elle avait été éteinte par le procédé ordinaire, ou spontanément à l'air libre, ou par immersion ; dans les hydrates de chaux maigre, au contraire, la dureté décroissait suivant que l'extinction de cette chaux avait eu lieu par les procédés ordinaires, ou par immersion, ou spontanément. L'extinction par les procédés ordinaires rend donc les hydrates de chaux grasse ou de chaux maigre susceptibles du maximum de dureté qu'ils puissent atteindre ; c'est-à-dire, que le procédé qui divise le mieux la chaux est aussi celui qui donne aux hydrates la plus grande résistance, résultat conforme d'ailleurs à ce principe de chimie : que l'union des parties constituantes d'un composé est d'autant plus intime que ses parties sont plus ténues.

Les hydrates de chaux grasse peuvent acquérir à l'air un degré de consistance qui les rend susceptibles de poli, tandis que ceux

de chaux maigre demeurent friables. Le contraire arrive quand on les immerge ; les premiers se dissolvent, tandis que les seconds s'endurcissent.

Un grand nombre d'expériences prouve que l'argile ferrugineuse, les cendres de houille, le schiste bleu et le basalte doivent éprouver des degrés de cuisson différens, pour donner avec la chaux grasse les meilleurs bétons que l'on puisse en composer. M. Vicat rappelle ensuite que la chaux grasse et la chaux maigre doivent y entrer dans des proportions différentes, en observant que la détermination de ces proportions dépend de la nature des matières que l'on emploie ; matières dont la variété presque infinie ôte tout espoir de prescrire sur cet objet des règles générales suffisamment fondées. L'expérience l'a cependant conduit à conclure, contre l'opinion commune, que pour tous les bétons à chaux grasse, et même à chaux moyenne, il vaut mieux pécher par défaut de chaux que par excès. Il a remarqué que l'on peut par des proportions convenables des matières que l'on emploie, décupler la résistance des bétons.

Il démontre, par de nombreuses observations, que l'extinction par immersion et l'extinction spontanée l'emportent sur l'extinction ordinaire pour les chaux communes très-grasses, et pour les chaux moyennes; de telle sorte néanmoins qu'à mesure que le gras de la chaux diminue, les résistances propres à chacun de ces procédés d'extinction diminuent aussi : d'où il suit qu'il y a telle espèce de chaux pour laquelle le procédé d'extinction est indifférent ; passé ce terme, les différences entre les résistances provenant des divers procédés d'extinction, de positives qu'elles étaient d'abord, deviennent négatives. Cette dernière partie de l'échelle appartient aux chaux éminemment hydrauliques.

M. Vicat pense qu'il y a des cas où il faut sacrifier à l'intensité de la combinaison ce qu'on pourrait obtenir de la compression,

et d'autres cas où il faut suivre une marche contraire ; le choix du parti à prendre est subordonné à l'énergie des matières que l'on emploie. Un des faits les plus remarquables que l'auteur ait observés, c'est qu'une longue exposition à l'air, sous un hangar fermé au vent et à la pluie, donne aux chaux très-grasses, éteintes spontanément, des propriétés hydrauliques très-prononcées.

L'auteur cherche ensuite l'influence réciproque de la chaux et de la pouzzolane. On ne peut contester, dit-il, que, parmi toutes les manières de combiner en diverses proportions les cinq ou six oxides qui constituent les bétons, il n'en soit une qui donne le composé le plus solide. Cela posé, plus les combinaisons fortuites des pouzzolanes et des chaux de construction s'approchent de ces proportions inconnues, plus aussi les bétons qui en résultent offrent de dureté. Or, il peut arriver que la chaux contienne déjà, et dans l'état convenable, une grande partie des oxides nécessaires, ou qu'elle n'en contienne que très-peu, ou même point du tout. On conçoit que, dans le premier cas, la présence d'une bonne pouzzolane peut amener une superfluité plus nuisible qu'utile ; tandis que, dans le second, elle produira tout l'effet désirable. L'influence des proportions s'explique aussi de la même manière.

Le raisonnement et l'expérience indiquent donc, d'un commun accord, que, si l'on range sur une même ligne, par ordre d'énergie, toutes les chaux connues, il faudra placer les pouzzolanes sur une ligne parallèle, et dans un ordre inverse, pour que les termes qui se correspondent sur cette échelle, donnent ensemble les meilleurs résultats possibles. Ainsi les chaux de première qualité seraient en présence des sables éminemment quartzeux ; et les chaux communes très-grasses, vis-à-vis des pouzzolanes.

Les bétons à chaux grasse ou commune font plus de progrès vers leur solidification, de la seconde à la troisième année, que

de la première à la deuxième : ce qui prouve la marche accélérée du phénomène. Elle l'est également encore, mais d'une manière moins sensible, dans les bétons à chaux moyenne ; tandis que pour ceux à chaux maigre éminemment *hydraulique*, les progrès de l'endurcissement sont déjà retardés aux mêmes époques. Ainsi, quelles que soient les pouzzolanes mises en œuvre, les bétons à chaux maigre acquièrent toujours leur maximum de dureté plutôt que les bétons à chaux grasse.

Il fait remarquer, comme une conséquence d'un grand nombre d'observations dont il présente le tableau, d'abord, que les chaux qui forment, par le seul concours de l'eau, les corps les plus solides, sont celles d'où résultent, au contraire, les mortiers les plus faibles ; en second lieu, que dans la fabrication du mortier, le sable quartzeux est utile à quelques espèces de chaux, nuisible à d'autres, et indifférent à quelques-unes, selon, dit-il, que ces chaux ont la propriété d'exercer sur les molécules de quartz une action chimique supérieure, inférieure, ou égale à celle quelles exercent sur leurs propres parties. Les chaux hydrauliques, qui ne sont employées ordinairement que dans la composition des bétons, peuvent, au surplus, être employées avec le même avantage dans les constructions à l'air.

D'après les expériences de l'auteur, il convient d'employer du sable fin pour composer avec des chaux hydrauliques les meilleurs mortiers que l'on puisse en former, tandis qu'avec les chaux grasses ordinaires, c'est, au contraire, du gros sable que l'on compose les meilleurs mortiers. D'autres expériences plus concluantes que celles que l'on connaissait, ont prouvé à M. Vicat que la dessication des mortiers à l'air libre devait s'opérer lentement, et qu'on arrêtait les progrès de leur solidification quand on les faisait passer subitement d'un lieu frais et humide dans un autre chaud et sec.

L'ouvrage est terminé par un parallèle curieux entre les résistances relatives de divers mortiers antiques ; il prouve que leur dureté n'est pas l'ouvrage du tems seul, et qu'elle doit être attribuée surtout à l'excellence des matières que le hasard plaça dans les mains de ceux qui les fabriquèrent. Quelques exemples cités démontrent que si quelques anciens édifices ont résisté jusqu'à présent aux outrages du tems par la bonne composition de leurs mortiers, les mortiers ne doivent leur conservation, dans quelques autres, qu'à la bonne disposition et à l'excellente qualité des matériaux avec lesquels on les a mis en œuvre.

DE LA MAÇONNERIE.

La maçonnerie est l'art d'arranger les matériaux nécessaires à la construction d'un édifice : on peut faire cet arrangement de cinq manières différentes.

La première est celle de carreaux et boutisses de pierres dures ou tendres, bien posés en recouvrement les uns sur les autres : cette manière est appelée communément *maçonnerie en liaison*, où la différente épaisseur des murs détermine les différentes liaisons, à raison de la grandeur des pierres que l'on veut employer.

Il faut observer, pour que cette construction soit bonne, d'éviter toute espèce de garni et remplissage, et pour faire une meilleure liaison, de piquer au marteau les paremens intérieurs, afin que, par ce moyen, les agens que l'on met entre deux pierres, puissent les consolider, il faut aussi en équarrir les pierres, et n'y souffrir aucun tendre ni bousin, parce que l'un et l'autre emousseraient les parties de la chaux et du mortier.

La seconde est celle de brique : cette construction se fait en liaison comme la précédente.

La troisième est la maçonnerie de moellon : ce n'est autre chose que des éclats de pierre, dont il faut retrancher le bousin et toutes les inégalités, qu'on réduit à une même hauteur, bien équarris, et posés exactement de niveau en liaison, comme ci-dessus.

Le parement extérieur de ces moëllons peut être piqué ou rustiqué, lorsqu'ils sont apparens.

La quatrième est celle de limosinage, que Vitruve appelle *amplecton :* elle se fait aussi de moëllons posés sur leurs lits et en liaison, mais sans être dressés ni équarris, étant destinés pour les murs que l'on enduit de mortier ou de plâtre.

Il est cependant beaucoup mieux de dégrossir ces moellons pour les rendre plus gissans, et en ôter toute espèce de tendre qui, comme nous l'avons dit précédemment, absorberait ou amortirait la qualité de la chaux qui compose le mortier. D'ailleurs, si on ne les équarrissait pas, au moins avec la hachette, les interstices de différentes grandeurs produiraient une inégalité dans l'emploi des mortiers, et un tassement inégal dans la construction des murs.

La cinquième se fait de blocage, c'est-à-dire, de mêmes pierres qui s'emploient avec du mortier dans les fondations, et avec du plâtre dans les ouvrages hors de terre : c'est-là, selon Vitruve, une des bonnes manières de bâtir, parce que, plus il y a de mortier, plus les pierres en sont absorbées, et plus les murs sont solides quand ils sont secs. Mais il faut remarquer aussi que plus il y a de mortier, plus le bâtiment est sujet à se tasser, à mesure qu'il sèche ; et on doit regarder comme un bonheur, s'il tasse également. Cette espèce de maçonnerie ne vaut rien pour la construction des voûtes.

De tous les matériaux compris sous le nom de *maçonnerie*, la pierre tient aujourd'hui le premier rang.

Avant que la géométrie et la mécanique fussent devenues la base de l'art du trait pour la coupe des pierres, on ne pouvait s'assurer précisément de l'équilibre et de l'effort de la poussée des voûtes, non plus que de la résistance des pieds-droits, des murs, des contreforts, etc.; de manière que l'on rencontrait, lors de l'exécution, des difficultés que l'on n'avait pu prévoir, et qu'on ne pouvait résoudre qu'en démolissant les parties défectueuses, jusqu'à ce que l'œil fut moins mécontent; d'où il résultait que ces ouvrages coûtaient souvent beaucoup, et duraient peu, sans satisfaire les hommes intelligens.

C'est donc à la théorie qu'on est maintenant redevable de la légèreté qu'on donne aux voûtes de différentes espèces, ainsi qu'aux voussures, aux trompes, etc., et de ce qu'on est parvenu insensiblement à abandonner la manière de bâtir des derniers siècles, trop difficile par l'immensité des poids qu'il fallait transporter, et d'un travail beaucoup plus lent : c'est même ce qui a donné lieu à ne plus employer la méthode ancienne, qui était de faire des colonnes, des architraves d'un seul morceau, et de préférer l'assemblage de plusieurs pierres, bien plus facile à mettre en œuvre. C'est par le secours de cette théorie, que l'on est parvenu à soutenir des plates-bandes, et à donner à l'architecture ce caractère de vraisemblance et de légèreté inconnues à nos prédécesseurs. Cette réflexion n'est pas applicable aux Romains, qui employaient dans les ouvrages plutôt destinés à l'utilité publique qu'à la décoration, une manière de construire moins dispendieuse que la nôtre. Leurs matériaux étaient d'un petit volume, et réunis par un mortier ou par un ciment qui en faisait la base, et presque la totalité. Ce genre de travail supprimait tout l'attirail des énormes voitures, celui des machines multipliées; en un mot, les bras étaient uniquement employés

à la chose même, et l'ouvrage s'achevait avec une rapidité étonnante.

DU FER.

Ce métal, le plus dur et le plus élastique de tous les métaux, est sans contredit le plus utile sous une foule de rapports; il est en même temps le plus commun dans toutes les parties du globe. La France, l'Allemagne en sont abondamment pourvues; mais il n'y a point de pays en Europe qui en fournisse en aussi grande abondance et de meilleure espèce que la Suède, soit par l'excellente qualité de ses mines, soit par les soins qu'on apporte à leur exploitation.

Le fer est dilatable par la chaleur : il se fond à la température de 160 degrés du pyromètre de Weedgevood, répondant au 9280me du thermomètre de Réaumur.

Sa pesanteur spécifique est de 7,788; mais cette pesanteur varie en raison du plus ou du moins de pureté du fer, et de son état de fer, de fonte ou de fer forgé.

Les qualités de fer pur sont modifiées et quelquefois anéanties par différentes substances qui lui sont alliées. Les plus importantes modifications, sous le rapport des constructions, sont les suivantes.

Le fer chauffé et refroidi sans être battu, devient aigre et cassant.

Le fer forgé est flexible, malléable; il cède à la lime, au burin; il est propre à la filière. En le cassant à froid, lorsque sa contexture est fibreuse, il est de bonne qualité.

Lorsque le fer forgé est complètement affiné, il ne doit contenir aucune matière étrangère; mais, quelque soin que l'on prenne, on l'obtient rarement pur : il retient toujours un peu d'oxigène et de carbone.

On distingue dans les arts la fonte en quatre classes, et qui ont chacune des propriétés particulières.

1° *La fonte blanche.* C'est celle qui contient peu de carbone. Sa cassure est d'un blanc argentin : elle est très-dure et fragile. Elle ne peut être employée avec succès aux ouvrages destinés à éprouver des chocs ; mais elle est propre à l'affinage, et se convertit plus facilement que les autres en fer forgé.

2° *La fonte grise.* Elle doit son état et sa couleur plombée dans la cassure, à une plus grande dose de carbone. Elle a un peu de ductilité, propriété qu'elle doit à la plombagine, ou carbure de fer qu'elle contient ; elle a aussi de la ténacité. Ces qualités la rendent propre à la fabrication des bouches à feu. Elle est moins propre à l'affinage que la fonte blanche.

3° *La fonte mêlée.* Elle tient le milieu entre les deux précédentes. On en fabrique les boulets, les bombes et autres objets qui doivent éprouver une forte résistance, tels que les châssis ou voussoirs qui sont employés à la construction des ponts de fer. Cette fonte est la plus propre à être convertie en fer forgé.

4° Enfin, *la fonte noire.* C'est celle qui contient la plus forte dose de carbone. Son grain est fin dans la cassure, et d'une couleur plus sombre que la grise ; elle est douce, mais elle n'est capable que d'une faible résistance ; elle est, en général, peu propre aux ouvrages coulés.

On peut apprécier la qualité de ces diverses espèces de fonte, en examinant le fer forgé qui en résulte : si ce fer est doux, s'il a de la ténacité, s'il est ductile à chaud et à froid, la fonte de laquelle il provient sera d'excellente qualité ; mais, au contraire, si le fer est cassant à froid, la fonte n'aura pas les qualités nécessaires pour être employée avec succès aux ouvrages coulés, destinés aux grandes constructions.

On distingue également plusieurs espèces de fer forgé, relativement à ses qualités.

1° Le fer *doux*. Il tient le premier rang par ses excellentes qualités. Ce fer est ductile à chaud et à froid, ce qui est dû à sa grande ténacité. Sa cassure, en fort échantillon, présente une couleur plombée, peu de nerf et beaucoup de grain. Cassé en petit échantillon, il paraît au contraire tout neuf. Il est propre aux grands ouvrages de forge, surtout lorsqu'il est corroyé.

2° Le fer *cassant à froid*. Cette espèce de fer se rompt aisément à froid et sans le secours de la tranche; il est ductile à chaud. Cassé en gros et petit échantillon, il est d'un blanc argentin, à petites facettes, et ne montre point de filets nerveux. Cette espèce de fer a plus de dureté, mais moins de ténacité que le fer *doux*; il se soude aisément.

3° Le fer *cassant à chaud*. Le caractère principal de cette espèce de fer est de ne pouvoir être soudé; il a d'ailleurs beaucoup d'analogie avec la première espèce, le fer *doux*; les ouvriers l'appellent improprement *fer cuivreux*; ils lui donnent aussi le nom de *fer rouvrain*, sous lequel il est plus généralement connu.

Le résultat moyen des dernières expériences de M. de Buffon sur le fer forgé, est qu'un fil de fer de $0^{m},002$ (une ligne) de diamètre supporte, avant de casser, un poids de $242^{k},3$.

Le résultat des dernières expériences faites aux forges de Saint-Gervais, est que le fer de fonte n'a pas, à beaucoup près, la même ténacité que le fer forgé: un barreau de ($0^{m},009$) 4 lignes de côté, n'a porté que ($808^{k},67$) 1650 livres, tandis qu'un barreau de fer forgé, provenant de la même usine de St.-Gervais, et des mêmes dimensions, a porté ($5671^{k},88$) 11,587 livres, résultat qui établit une différence prodigieuse entre les forces de résistance du fer dans ces deux états.

Suivant M. Duleau, le résultat moyen de la résistance du fer forgé, tiré suivant sa longueur, est par millimètre carré, pour les fers carrés de $44^k,8$; et pour les fers ronds, de $45^k,7$, ce qui s'écarte du résultat indiqué plus haut. Comme il est important, pour la solidité des ouvrages, de se tenir plutôt au-dessous qu'au-dessus de ces résultats, on pense qu'il convient d'adopter de préférence ceux de résistance moyenne, indiqués par M. Duleau.

CHAPITRE TROISIÈME.

DES PONTS ET DE LEURS DIVERSES PARTIES; DES PRINCIPES D'APRÈS LESQUELS ON DOIT LES ÉTABLIR.

PREMIÈRE SECTION.

Les premiers hommes réunis en société, durent trouver dans le cours seul d'un ruisseau un obstacle à leurs communications : un arbre renversé leur facilita, sans doute, bientôt le passage. Mais une plus grande réunion d'hommes à qui l'on donna le nom de *société*, rencontra de plus grands obstacles pour traverser les rivières et les fleuves. De simples radeaux qu'ils construisirent d'abord furent insuffisans aux peuples commerçans ou guerriers, qui ont toujours traîné de grands convois à leur suite; il fallut inventer d'autres moyens. Un seul corps d'arbre renversé, pour le passage d'un ruisseau, amena l'idée de l'assemblage de plusieurs corps d'arbres pour traverser un fleuve. Ainsi, les ponts de charpente doivent remonter presqu'à l'origine des peuples. L'histoire ne nous transmet rien de positif sur ces opérations primitives de l'industrie des hommes; mais aux premiers travaux qu'on exécuta en ce genre, on dut reconnaître facilement que les ponts en bois ne pouvaient avoir ni la solidité, ni la durée nécessaires pour ces sortes de monumens. Bien des siècles se sont, sans doute, écoulés avant qu'on connût la construction des voûtes. On ne savait qu'élever des piliers de distance en distance, sur lesquels on posa des planches ou de longues

pierres. La Chine nous offre encore des ponts dont la construction marque le second pas du génie vers la perfection. Le fameux pont que Sémiramis fit construire à Babylone, était de ce genre, ainsi que ceux qui furent bâtis par les rois de Perse, et depuis, par Trajan et César. Cependant, déjà sous les Romains, on connaissait la manière de construire des voûtes, mais seulement en plein ceintre; et ce n'est que par des degrés presque insensibles, qu'on est parvenu, de nos jours, et surtout en France, à cette perfection de la construction des ponts, qui étonne le génie lui-même. Le premier pont qui fut bâti à Rome, est le pont des Sénateurs, connu aujourd'hui sous le nom de *Ponte-Rotto;* (*voy. pl. XXXVII, fig.* 6.) Il n'existe rien de son ancienne construction. Mais le pont Emilius, nommé *Ponte-Mole*, subsiste encore tel qu'il était sous le dictateur Sylla qui le fit bâtir; il est composé de sept arches solidement construites, et n'a rien d'étonnant que son antiquité. (*Voy. pl. XLIV, fig.* 3.) Un des plus anciens, est celui du Janicule; il a été renversé, il est vrai, plusieurs fois, mais Sixte IV, dont il porte le nom, le fit relever. (*Voy. pl. XXXVII, fig.* 5.) Le pont Saint-Ange, un des plus beaux monumens de Rome, bâti par Adrien, fut réparé par Clément IX, sur le dessin de Bernin; il existe tel qu'on le voit représenté (*pl. XXXVII, fig.* 2).

Les ponts Fabricius et Latin, (*fig.* 3 *et* 4,) sont aussi remarquables par leurs fondations en enrochement, composées d'arcs droits et renversés, et appareillées avec soin en pierres de taille.

Le pont Bacchiglione, près de Vicence, est un des plus beaux ponts de l'Italie. (Voyez *pl. XLIV, fig.* 5.) Ses piles sont décorées de niches, accompagnées de colonnes composites que surmonte un fronton; l'arche du milieu a 21 mètres d'ouverture. Le pont de Trajan, sur le Danube, dont on voit le dessin d'une arche selon Dion Cassius, (*pl. III, fig.* 4,) est un de ces ouvra-

ges dignes de la grandeur du peuple romain ; sa construction colossale sur un fleuve rapide , exigeait, de la part de l'ingénieur qui le fit construire, les plus grands talens. Apollodore , son auteur, établit d'abord un radier général, par le moyen de bateaux chargés de pierres et de mortier qu'il fit couler au fond du fleuve ; et après avoir uni cette base et comblé les intervalles avec les mêmes matières , il posa les piles. Il n'était pas possible de construire les fondations par le secours des batardeaux , le Danube étant dans cet endroit trop rapide ; et Cassius , qui en parle, ajoute que, de son temps, ce pont n'était d'aucun usage, et qu'on voyait seulement des piles d'une hauteur étonnante s'élever, comme par ostentation, hors de la surface des eaux. Trajan fit construire ce pont pour le passage de l'armée qu'il fit marcher contre les Daces. Adrien, son successeur, par envie ou par la crainte des barbares, fit démolir ce superbe ouvrage, de manière qu'on ignore aujourd'hui le lieu où il fut établi. Je dois observer que M. de Mareilly , dans son ouvrage sur le Danube , n'est point de l'avis de Dion Cassius qui avance que ce pont était de pierre ; il pense , au contraire , qu'il était de bois : c'est dans ce dernier genre de construction que l'indique la colonne trajanne. Je serai volontiers de l'avis de Perrault qui le considère comme étant construit partie en pierre et partie en bois , ainsi qu'il est représenté (*pl. XXXVII. fig.* 1.)

On concevra jusqu'où les Romains portèrent leur ambition dans le genre de ces édifices, quand on lira qu'un simple citoyen romain, Marc Varon, lieutenant de Pompée, entreprit de joindre, par un pont de bois, l'Italie à la Macédoine. Quoique cet endroit soit le plus étroit de la mer Ionienne , il a néanmoins 25 lieues françaises communes de longueur. Il est vrai que cette entreprise demeura sans effet ; mais Pline , qui en fait l'histoire, dit qu'elle ne fut point abandonnée faute de moyens, mais faute de temps.

Tous ces ponts anciens étaient construits à plein cintre. A cette manière succéda la forme gothique.

Le plus beau pont de cette espèce est celui de Pavie, sur le Tésin, entièrement bâti en briques, et dont les arches ont 21 mètres d'ouverture; les tympans des arches sont, d'après la remarque de M. Gauthey, dans son *Traité des Ponts*, évidés de manière à présenter un triangle curviligne, dont deux côtés sont parallèles à l'intrados des voûtes. De cette manière, la charge est presque entièrement supportée par leurs clefs. Les piles sont chaperonnées en marbre blanc; les arches sont ornées d'une archivolte, et le pont est surmonté d'une balustrade gothique, de la même matière, travaillée avec toute la légèreté imaginable; chaque trottoir est en outre recouvert par une voûte en tiers-point, supportée par deux rangs de petites colonnes de marbre de couleur, de 24 centimètres de diamètre, espacées à 4^{m}, 38 centimètres, et dont les bases et les chapitaux sont de marbre blanc; ces voûtes, dont le cerveau est couvert d'arabesques rehaussées en or sur un fond azur, soutiennent deux terrasses sur lesquelles on monte par des escaliers placés aux extrémités du pont. On doit ce beau monument à Gabas Visconti, de Milan (*voyez pl. XLIV, fig.* 4). Je ne citerai que ce pont en arc gothique. On vit après s'introduire l'usage des arches en arc de cercle, dont les naissances sont placées plus ou moins près du niveau des hautes eaux. Un des premiers ponts faits dans ce genre, et qui peut avoir servi de modèle à ceux qu'on a fait construire en France, est le pont de Florence, sur l'Arno (*pl. XLIV, fig.* 2).

Vinrent ensuite les ponts en anse de panier, tels que celui de la Ste-Trinité, à Florence (*voyez pl. XXXVII, fig.* 7). La hauteur de chaque arche est le sixième du diamètre; l'arche du milieu a environ 32^{m} et demi d'ouverture, et les deux autres 27^{m} et demi; les piles ont 8 mètres d'épaisseur, et les voûtes sont construites en moellons.

On peut citer encore pour exemple le pont bâti par Michel-Ange, d'une seule arche, en arc de cercle, de 42^{m} 23^{c} d'ouverture : la voûte n'a que 1^{m} 62^{c} d'épaisseur à la clef, de manière qu'à une certaine distance, l'épaisseur du pont à la clef disparaît à la vue.

Un des beaux ponts qui existent en Europe, est celui de Westminster, bâti en 1738 et années suivantes, par Labélie, célèbre Ingénieur. C'est aux fondations de ce pont que fut employée, pour la première fois, la méthode des caissons, dont s'est servi depuis, avec le plus grand succès, l'Ingénieur Decessart. On voit (*pl. XLIV, fig.* 7) la moitié de l'élévation de ce beau pont ; je donne aussi l'élévation du pont de Blanheim, (*fig.* 6), province d'Oxford ; ce pont, orné magnifiquement est, selon moi, d'un très-bon goût, et peut prouver que ces sortes de monumens sont susceptibles de décorations.

Le pont de Salamanque, qu'on attribue à Trajan, est un de ces édifices dignes du nom romain ; il était composé de 26 arches de 34 mètres de hauteur ; l'épaisseur des piles était de 8 mètres, et les arches de 23 mètres d'ouverture. Il n'existe plus de ce pont que des ruines (*pl. XLVI, fig.* 4).

L'Asie nous offre aussi dans ce genre de très-beaux monumens d'un goût singulier, mais d'une construction difficile. Celui de Barbaronck, à Ispahan, est de ce genre (*Voyez pl. III, fig.* 2).

Les ponts de la Chine sont moins surchargés d'ornemens, mais superbes dans leur simplicité. Le pont de Fochen (*fig.* 5) est composé de cent arches en plein ceintre, de 39 mètres d'ouverture ; les vaisseaux passent dessous à pleines voiles ; les piles sont surmontées par des figures de lions, en marbre noir d'un seul bloc, et de 7 mètres de longueur ; la largeur de ce pont est de $19^{m},5^{c}$, et sa longueur de 7,935 mètres. Le pont Loyang à Fo-kien, sur un bras de mer, est composé de trois cents arches ;

les arches sont formées de larges pierres posées à plat sur les piles, on lui donne 8,800 mètres de longueur (*pl. III, fig.* 3). Je donne encore quelques autres dessins des ponts de la Chine, tels que le pont de Sou-Tcheou-Fou (*pl. XLV, fig.* 3); celui de Fou-Yang-Hien (*pl. XLVI, fig.* 6), et un pont couvert (*fig.* 5), qui partage la ville de Nan-Hiong-Fou; les piles sont en pierre, le dessus est en bois, et garni de chaque côté, de boutiques qui règnent d'une extrémité à l'autre. Je ne parlerai point des ponts construits en France; ils sont généralement trop connus pour nous y arrêter. On en trouvera cependant quelques dessins, tels que ceux des ponts de Céret et de Lavaur (*pl. XLV, fig.* 1 *et* 2); des ponts de Gignac, de Vieille-Brioude et de Claix (*pl. XLVI, fig.* 1, 2 *et* 3). Ceux qui voudront avoir la nomenclature des principaux ponts de France, pourront consulter le *Traité des ponts* de M. Gauthey.

Je ne dois pas passer sous silence un pont qui, par la singularité de sa construction et son utilité, mérite d'être cité comme un ouvrage de génie. L'invention en est due à M. Barbier, ingénieur des ponts et chaussées, qui en donna les dessins en 1747, et il fut exécuté en 1750. Il est situé à l'intersection que font les canaux de Calais et d'Ardres, sur la route de Calais à St-Omer. Il réunit dans un seul point la navigation de quatre canaux (*Voyez pl. XXXVIII*).

Ce pont est formé par quatre culées ou branches assujéties au plan d'un cercle dont le diamètre, entre les culées, est de douze toises, sur lequel s'élève une voûte en demi-sphéroïde de vingt-un pieds de montée, laquelle est pénétrée par quatre lunettes pour le passage des bateaux; savoir, deux de trente pieds d'ouverture, et les deux autres de trente-six pieds, dont les axes passent par un centre commun en formant des angles droits. La montée de ces lunettes est en plein ceintre, et leurs clefs règnent

au même niveau, jusqu'à la rencontre de la voûte sphéroïde, à un pied au-dessous de sa clef. Les huit pans coupés servant de pieds-droits aux voûtes de ces quatre lunettes, ont chacun six pieds neuf pouces de longueur, ayant à leur extrémité des murs d'épaulemens qui ont vingt-six pieds, sur un évasement de sept degrés d'ouverture; les murs en ailes qui suivent ont trente-trois pieds trois pouces de longueur sur trois pieds de largeur, et six pieds six pouces de hauteur, au-dessus des retraites, faisant saillie de six pouces de chaque côté au bas des recouvremens des mêmes murs.

La naissance de la voûte en cul-de-four commence à 2 pieds au-dessus des retraites, qui est le niveau des eaux ordinaires; celle des grandes lunettes, à deux pieds au-dessus des mêmes eaux; et celle des petites, à cinq pieds. La tête des lunettes est formée par un demi-cercle qui se raccorde exactement avec les murs d'épaulement, élevés de vingt-cinq pieds au-dessus des retraites, jusque sous le cordon, ensuite desquels sont les murs en ailes, dont les faces extérieures sont terminées à chaque assise par des recouvremens taillés en rampe, ayant à leur extrémité un carré, pour éviter des angles trop aigus.

Le cordon qui sert de base aux parapets, a un pied de hauteur sur huit pouces de saillie, et ces parapets ont trois pieds d'élévation au-dessus du cordon, sur dix-huit pouces d'épaisseur: ils sont contre-gardés par neuf bornes posées à trois pouces de distance du nu de la maçonnerie, afin que le choc des voitures ne puisse leur causer aucun ébranlement, et les quatre têtes des lunettes sont espacées, en sorte qu'il reste entre les parapets soixante pieds de largeur, pour le dégagement des voitures qui peuvent arriver ensemble sur ce pont, sans y causer aucun embarras; c'est pourquoi l'on n'a point élevé d'obélisque sur le milieu de ce pont, comme on l'avait d'abord pensé.

On doit s'attendre à voir figurer ici le pont de Neuilly, construit sous la direction de M. Perronet. Ce pont doit servir de modèle ; il réunit à une décoration simple, l'exécution la plus parfaite (*pl. XLIV*, *fig.* 1[re]). Il est construit sur la Seine, et est composé de cinq arches de 120 pieds (88 mèt. 98 cent.) d'ouverture chacune.

La hauteur sous-clef des arches est de 30 pieds (9 m. 74 c.), à partir de la naissance des voûtes, qui est établie au niveau des basses eaux ; la courbure du cintre primitif des voûtes a été faite avec onze cintres ; les têtes sont des portions d'arcs, dont le rayon est de 150 pieds (48 m. 60 c.) ; le raccordement, entre les têtes et le cintre primitif des voûtes, est formé par des cornes de vache en voussures, portant sur les avant et arrière-becs, dont la courbure du plan est pareille à celle des voûtes.

On a donné aux piles 13 pieds (4 m. 22 c.) de largeur, et l'on aurait pu, en toute rigueur, les réduire à 10 pieds (3 m. 24 c.), dimension double de la longueur que l'on donne à la coupe des clefs, et que l'on regarde comme devant être le *minimum* de l'épaisseur des piles.

La largeur du pont est de 45 pieds (14 m. 58 c.) d'une tête à l'autre, dont 29 pieds (9 m. 45 c.) pour le passage des voitures, et 6 pieds 3 pouces (2 m. 03 c.) pour chaque trottoir, dont l'élévation au-dessus du pavé est de 15 pouces (0,42 cent. 30 millim.)

La fondation des piles a 21 pieds (6 m. 82 c.) d'épaisseur, à mesurer du dessus des plates-formes en charpente, lesquelles, ainsi que les pilotis ont encore 2 pieds (0,65 c.) de plus d'empatement au pourtour de la première assise de pierre de taille de ces piles.

Le pavé, les parapets et les chemins aux arrivées du pont, ont été faits de niveau, en observant, sur la largeur du pavé, les

pentes convenables pour l'écoulement des eaux. On a donné 16 toises 2 pieds (31 m. 83 c.) de largeur à chaque extrémité du pont, dans la partie du dessus des culées et des arches de hallage, qui ont chacune 14 pieds (4 m. 55 c.) d'ouverture en plein cintre.

Les parapets ont 2 pieds (0 m. 65 c.) d'épaisseur à leur nu, et 3 pieds 7 pouces (1 m. 16 c.) de hauteur au-dessus des cordons et plinthes.

Parlons particulièrement des piles. On appelle ainsi un massif de forte maçonnerie, dont le plan est presque toujours un hexagone allongé, qui sépare et porte les arches d'un pont de pierre, ou les travées d'un pont de bois. On construit ce massif avec beaucoup de précaution. D'abord, son fondement est relevé en talus par recoupement, retraites et degrés, jusqu'au niveau de la terre du fond de l'eau.

En second lieu, la première assise est toute de pierres de taille, composée de carreaux et de boutisses, ceux-là ayant deux pieds de lit, et les boutisses au moins trois pieds de queue; ces pierres sont coulées, fichées, jointoyées, mêlées de chaux et de ciment.

On cramponne celles qu'on appelle *pierres de parement*, les unes avec les autres, avec des crampons de fer scellés en plomb; outre cela, on met à chaque pierre de parement un crampon pour la lier avec des libages, dont on entoure la première assise. Ces libages, de même hauteur que les pierres de parement, sont posés à bain de mortier, de chaux et de ciment, et on en remplit bien les joints d'éclats de pierre dure : on bâtit de même les autres assises de pierres.

La construction d'une pile, quoique importante, n'est pas cependant la chose la plus essentielle; c'est sa proportion qui est difficile à déterminer. Selon M. Bergier, les anciens donnaient aux piles des ponts la troisième partie de la grandeur des arches

et même la moitié. Aujourd'hui, on pense que les piles doivent avoir moins, comme un quart. et un cinquième : mais sur quoi cette règle est-elle fondée? on n'a encore rien de bien concluant sur cette matière. M. Gautier croit que l'expérience seule peut fixer les dimensions des piles.

Cette expérience consiste à savoir, selon lui, quelle est la force des matériaux qu'on trouve sur les lieux, qui supportent plus ou moins le fardeau dont on les charge, suivant le plus ou le moins qu'ils sont compactes et serrés. Il suppose que les piles supportent la moitié de la maçonnerie des arches qui sont à leurs côtés, à les prendre depuis le milieu des clefs. Admettant la vérité de cette assertion, il est évident que, connaissant les qualités des pierres, la solidité d'une arche et celle des piles, on saura comment on peut régler les dimensions des piles, en égalant ces deux solidités. Mais, n'y a-t-il pas quelqu'autre condition a examiner : par exemple, celle de la forme qu'il convient de leur donner?

On trouve dans les recherches sur la construction la plus avantageuse des digues, de MM. Bossut et Viallet, la solution d'un problême dont l'objet est de déterminer la forme la plus convenable à donner à la tête d'une jetée.

La tête d'une jetée et l'avant-bec d'une pile, sont des constructions assujéties aux mêmes conditions ; il s'agit également de défendre ces édifices contre l'action du fluide qui les frappe sans cesse; et il paraît que la forme qui convient à l'un, doit convenir à l'autre. M. Bossut suppose que chaque face de la tête de la jetée est frappée par des filets de fluide, dont les directions sont parallèles, et dont les vitesses sont égales. Il cherche ensuite, d'après la théorie ordinaire du choc des fluides, quelle doit être la forme de la base de chaque face, pour que ce choc soit le moindre possible. Il trouve que la ligne droite résout le

problême, et que si la base est un triangle, ce doit être un triangle isoscèle, dont les deux angles égaux seraient de 50 degrés.

M. Gauthey, dans son *Traité des Ponts*, observe que cette solution est sujette à beaucoup de difficultés; il prétend, avec raison, que la question n'est pas bien posée. Il semble inutile que la tête d'une jetée, ou l'avant-bec d'une pile, reçoive le moindre choc possible de la part du courant, parce qu'on n'a point à craindre que le courant en déplace la masse toute entière; mais quand le parement de la tête d'une jetée est bien construit, elle ne peut jamais être emportée qu'autant que l'eau fouille au pied, et c'est seulement ce dernier effet qu'il est essentiel de prévenir.

Il paraît au premier coup-d'œil, dit M. Gauthey, que si le débouché d'un pont est réglé de manière que le rapport, marqué par le régime de la rivière, entre la résistance du sol et la vitesse moyenne du courant, ne soit pas sensiblement altéré, il est impossible qu'il se produise aucun affouillement; et cela serait vrai, si cette vitesse moyenne se distribuait uniformément dans toute la masse des eaux auxquelles le pont donne passage. Mais les obstacles que les piles et les naissances des arches opposent au courant, nuisent à cette égale répartition de la vitesse; tandis qu'il se forme des courans particuliers très-rapides, on voit, dans d'autres endroits, les eaux tournoyer et revenir sur elles-mêmes. Il est donc important de donner aux piles la forme la plus propre à prévenir ces effets, dont les suites sont plus ou moins dangereuses.

Cette forme, non plus que l'épaisseur des piles, ne peuvent être déterminées d'une manière bien précise. Toutes les expériences faites pour la meilleure forme à leur donner, ne sont point

parfaitement exactes, et ne peuvent être assujéties à des formules algébriques.

On conçoit ici qu'en parlant de la forme des piles, nous entendons celle des avant-becs destinés à diviser les eaux et à briser les glaces, et qui doivent toujours s'élever jusqu'au niveau des plus grandes crues.

La forme des arrière-becs n'est pas aussi importante que celle des avant-becs; il y a même des anciens ponts où ils sont entièrement supprimés; cependant ils sont nécessaires, en ce qu'ils dirigent les eaux, les éloignent des piles, et empêchent les affouillemens du côté d'aval.

Je pense donc, en général, que dans le plan triangulaire donné aux avant-becs des piles, le triangle équilatéral est à préférer au triangle rectangle; mais qu'il faut arrondir l'angle saillant, cette forme étant plus agréable et plus solide.

M. Garipuy, directeur-général des ponts et chaussées du Languedoc et très-habile ingénieur, a cherché à modifier la forme triangulaire, de manière à obtenir de la part du fluide, une égale pression sur toute la longueur des faces des avant-becs. Comme le fluide accélère un peu son mouvement en parcourant la longueur de l'avant-bec, il suit de la théorie ordinaire de la résistance des fluides, que chaque face doit être légèrement convexe. La forme qu'on obtient de cette manière diffère fort peu du triangle.

L'exemple devant servir beaucoup plus que toutes les expériences qui tiennent à des hypothèses particulières, j'ai cru devoir rassembler, sous un même point de vue, les plans et élévations de différentes piles qui ont été construites par des hommes célèbres, et qui serviront à diriger l'ingénieur dans les projets des ponts dont l'exécution lui est confiée : c'est l'ouvrage de M. Gauthey qui me fournit les matériaux.

On voit (*pl. LIV, fig.* 1 *et* 2) l'élévation et le plan d'une des piles du pont de Moulins. Les avant et arrière-becs sont triangulaires, mais l'angle saillant est arrondi, ainsi que je l'ai indiqué plus haut : ce moyen est préférable à l'emploi d'un prisme de fonte maintenu dans la maçonnerie, et on ne doit recourir à ce dernier moyen, qu'autant qu'on y est forcé par la mauvaise qualité de la pierre ; le chaperon ou couronnement a la forme d'une pyramide triangulaire, et on a conservé dans les pierres dont il est construit, une partie verticale qui doit toujours avoir au moins 8 à 10 centimètres de hauteur.

Les *figures* 3 *et* 4 représentent une des piles du pont d'Orléans : la base de l'avant-bec est terminée par deux arcs égaux au sixième de la circonférence : celle de l'arrière-bec est un demi-cercle ; l'angle saillant de l'avant-bec n'est pas assez aigu pour avoir ici besoin d'être arrondi ; et la forme de cette pile est peut-être, selon l'ingénieur Gauthey, celle qui remplit le mieux toutes les conditions auxquelles on doit satisfaire. Le couronnement des avant et arrière-becs a une hauteur qui pourrait être diminuée sans inconvéniens : tous deux sont formés par une surface conique.

Les *figures* 5 *et* 6 représentent une des piles du pont de Sainte-Maixence. On trouve dans quelques ouvrages étrangers des exemples de piles partagées en deux parties, dont l'intervalle est recouvert par une voûte ; mais ces piles sont très-massives, et le pont Sainte-Maixence est le seul où l'on ait osé faire porter des arches sur des points d'appui aussi faibles et aussi isolés. Cette hardiesse n'ayant aucun objet d'utilité, puisqu'elle ne diminue que bien peu la dépense, il est vraisemblable qu'elle ne trouvera point d'imitateurs. Le couronnement des avant-becs est formé par une surface conique qui a fort peu de hauteur, et comme la pile est très-mince, il est construit avec une seule pierre.

Les *figures* 7 *et* 8 représentent une des piles du pont de Louis XVI, à Paris. L'avant-bec est formé par une colonne engagée dans le corps carré de la pile, du quart de son diamètre environ, et surmontée d'un chapiteau ; au-dessus de ce chapiteau, est placé un court architrave, sur lequel règne la corniche dont tout le pont est couronné, et qui porte un socle carré.

Les *figures* 9 *et* 10 représentent une pile du pont de Neuilly. Le plan des avant et arrière-becs est un ovale, et cet ovale commence sous la voûte même, à l'origine inférieure des cornes de vache. Le couronnement est terminé par une surface conique qui a peu de hauteur.

On a quelquefois élevé les avant-becs des piles jusqu'au niveau de la partie supérieure du pont, en leur faisant porter des colonnes, des obélisques, des figures, ou même de petites boutiques, comme au Pont-Neuf de Paris. Quelquefois aussi ces avant-becs forment un espace entourré du parapet qui règne au-dessus du pont; cet espace donne un asile aux gens de pieds, et il est surtout utile dans les ponts qui servent de promenade.

Les *figures* 11 *et* 12 représentent une pile du pont de Tolède, à Madrid, qui est dans ce dernier cas.

On entend par brise-glace un ou plusieurs rangs de pieux placés du côté d'amont et au-devant d'une pile de charpente ou palée pour la défendre des glaces et des heurts des corps d'arbres que les inondations entraînent. Les pieux des brise-glaces sont d'inégale grosseur, en sorte que le plus petit sert d'éperon : ils sont couverts d'un chapeau rampant qui les tient assemblés pour briser les glaces et conserver la palée.

On fait aussi des brise-glaces maçonnés ; mais soit qu'on les ait construits en charpente ou en maçonnerie, ils doivent être à peu près de la largeur des piles ou des palées des ponts qu'ils contre-gardent : on ne peut donner aucune règle fixe sur leur

construction, dont le mode est toujours déterminé par les localités. Les avant-becs, dans les ponts de maçonnerie, sont de véritables brise-glaces.

Les rivières changent sans cesse la disposition de leur lit. Un arbre couché dans un courant, un rocher renversé, une jetée, un épi et tout autre ouvrage font varier souvent le cours d'une rivière : ce changement se fait sentir au loin ; de manière qu'un endroit où il y avait une très-grande profondeur d'eau devient un atterissement. J'en ai fait une longue expérience pendant les dix années que j'ai été chargé des travaux à faire sur la Garonne pour en conserver la navigation.

Ces différens changemens dégravoient un jour un côté d'une pile ; le jour suivant un autre de ses côtés, et peu à peu la minent en différens endroits, et l'affaiblissent à tel point, que souvent le pont s'écroule au-dessus des affouillemens, surtout lorsqu'ils sont exposés à des courans rapides.

Pour remédier à ces inconvéniens, l'ingénieur Gautier conseille de faire battre diverses files de pieux autour des avant-becs des piles dégravoyées, autant que la sonnette peut jouer tout autour ; car elle ne peut se placer à l'endroit des crèches, ni sous les arches, où les cavités des reins sont trop basses pour permettre une pareille charpente. On se contente de battre dans ces endroits des pieux avec la masse à deux ou trois manches, et de lier la tête de tous avec des chapeaux à rainures et palplanches, pour achever de revêtir tous les côtés de la pile.

Les files de pieux se mettent à un mètre, deux mètres ou trois mètres des faces et du pied des piles ; on s'écarte autant qu'il est nécessaire pour ne pas rencontrer avec la pointe des pieux les premières retraites des fondations ; d'ailleurs, en s'éloignant, on donne plus d'espace à la crèche, et elle contiendra plus de matériaux en jetée, soit à pierres perdues qui vont remplir le

vide au-dessous des piles en roulant les unes sur les autres, ou en maçonnerie à fond perdu qui coule aussi partout : elle fait prise d'abord, quand elle est faite sur-le-champ avec un bon mortier.

Je vais donner ici, pour l'instruction des jeunes ingénieurs, le devis du pont de Neuilly ; c'est un bon modèle à suivre.

Après ce devis, je reviendrai à la construction des ponts.

Devis d'un pont de pierre à construire sur la Seine, à Neuilly.

Ce devis sera divisé en trois sections; dans la premiere, on exposera les dimensions du pont ; dans la seconde, les qualités et dimensions des matériaux, la manière de préparer et mettre en œuvre une partie de ces matériaux ; dans la troisième, la construction des différens ouvrages.

Art. 1er. Ce pont sera construit en pierre, sur l'alignement du milieu de la grande avenue des Champs-Elysées, en face du château des Tuileries; son milieu se trouvera à deux mille sept cent quatre-vingt-quatre toises cinq pieds de distance de la statue équestre du Roi.

Il sera fait sur le bras principal de la rivière, du côté de Courbevoie, lequel sert à la navigation ; le bras du côté de Neuilly sera comblé, et l'île d'entre ces deux bras, qui contient quarante-deux mille quatre cent quarante-cinq toises carrées, sera supprimée sur trente-cinq mille cinq cent quatre-vingt-sept toises, dont les terres seront enlevées, jusqu'à un pied sous les plus basses eaux, le tout pour réunir la rivière en un seul canal sur lequel sera construit le pont.

2. Ce pont aura cent dix toises cinq pieds de longueur d'une culée à l'autre, et quarante-cinq pieds de largeur entre les têtes; il sera composé de cinq arches, de quatre piles, deux demi-piles

contre les culées, et deux culées. Les arches auront chacune cent vingt pieds d'ouverture et trente pieds de hauteur, depuis leur naissance, qui sera établie à la surface des basses eaux de la rivière, jusqu'à la clef de ces arches ; elles seront de forme ovale, décrite par onze centres, dont le plus grand rayon aura cent cinquante pieds, et le plus petit, dix-neuf pieds sept pouces six lignes.

3. Les piles auront chacune treize pieds d'épaisseur mesurée à leur nu ; leur hauteur sera, depuis les basses eaux jusque sous le couronnement, de quatre pieds quatre pouces.

4. Les avant et arrière-becs, y compris sept pieds et demi de longueur du bout de chaque pile sous le corps du pont, seront faits sur un plan demi-ovale, dont le demi-grand axe aura douze pieds, compris quatre pieds six pouces au-delà du nu des têtes du pont, et le petit axe treize pieds, longueur égale à l'épaisseur des piles.

5. Les culées auront chacune seize toises quatre pieds de longueur, compris leur prolongation de vingt-sept pieds six pouces de chaque côté au-delà des têtes du pont, et trente pieds trois pouces d'épaisseur, compris six pieds six pouces pour celle de la demi-pile mentionnée ci-devant.

6. Les voûtes auront leur naissance à la hauteur des basses eaux, et seront formées en demi-ovale de plusieurs arcs de cercle, comme il a été dit ci-devant; mais les têtes ne suivront pas la même courbure : elles seront faites d'un seul arc de cercle, c'est celui du milieu de la voûte prolongé jusqu'aux piles sur lesquelles il prendra sa naissance. Cet arc des têtes se raccordera avec la courbure du reste de la voûte, par un arrière-voussure qui coupera les douelles de la voûte dans la même ligne où elles seraient rencontrées par un plan vertical passant, d'une part, par l'extrémité du corps carré de la pile, et de l'autre, par la

tête du pont, à seize pieds sept pouces de distance du milieu de la clef, au point où finira l'arc supérieur de la voûte, formé du plus grand rayon. Si on imagine un plan coupant la voûte par quelque ligne parallèle aux assises des voussoirs et passant par le centre de l'arc de la même partie de voûte, ce plan coupera aussi la voussure en ligne droite. La même voussure ainsi continuée au-dessous de l'arc des têtes, comme s'il était prolongé plus bas que le dessus des piles jusqu'à la naissance des voûtes, rencontrera la partie arrondie de la pile, contre laquelle elle se profilera en ligne courbe.

7. Les culées du pont seront chacune accompagnées d'une arche de halage, de deux murs en retour des culées, lesquels seront parallèles à la longueur du pont; de deux autres petits murs de quai, qui seront d'équerre aux précédens, et enfin, de deux murs de rampes pour soutenir les chemins qui descendent du dessus du pont sur le terrain naturel. Les murs des culées, ceux en retour, et les murs de quai seront terminés par un pilastre, et ceux de rampes par un socle.

8. Chaque arche, pour le halage des bateaux, sera faite en plein cintre; elle aura quatorze pieds d'ouverture, et quatorze pieds trois pouces de hauteur sous clef, compris dix-huit pouces pour un socle par bas, formant retraite de trois pouces, et cinq pieds neuf pouces de hauteur de pied-droit, à compter de dessus la retraite. Elle sera appuyée d'un côté sur la culée du pont. L'autre culée de cette arche aura cinq pieds d'épaisseur et seize pieds trois pouces de hauteur, depuis le dessus du chemin de halage, jusque sous le couronnement des têtes du pont.

9. Il sera construit quatre murs entre les culées précédentes, pour prolonger la buttée de celle du pont, lesquels auront chacun cinq pieds d'épaisseur; ils seront espacés entr'eux de huit pieds, et élevés jusqu'à dix-sept pieds six pouces au-dessus des basses eaux.

10. Le milieu du pilastre de chaque angle du devant de la culée sera établi à vingt-cinq pieds six pouces du parement de chaque tête du pont, et à vingt-huit pieds neuf pouces du milieu de l'arche de halage ; sa largeur sur chaque face, sera de neuf pieds, non compris le fruit dont il sera parlé ci-après ; au moyen de quoi la saillie, au-devant du parement des murs joignans, sera de deux pieds et demi.

11. Les murs en retour des culées auront chacun quarante-huit pieds six pouces de longueur entre les pilastres, ou cinquante-sept pieds six pouces, mesurés au milieu de chaque pilastre, et six pieds dix pouces d'épaisseur dans les parties qui se trouveront au-delà des arches de halage.

12. Le pilastre du bout de chacun de ces murs sera de même dimension que les précédens, et se trouvera placé aussi à même distance du milieu des arches de halage.

13. On fera des bossages aux paremens des six pilastres de chaque bout du pont, ainsi qu'aux têtes des arches de halage, et seulement des refends au reste du parement des murs en retour des culées et des murs de quai. Ces refends auront un pouce et demi de saillie et autant de hauteur, et les bossages cinq pouces et demi de saillie, le tout mesuré d'après le nu des paremens, ce qui réduira la saillie des bossages à quatre pouces au-delà des refends. Les refends des bossages auront également un pouce et demi de hauteur au fond, comme les autres refends, et leurs angles seront arrondis en quart de cercle.

14. Les murs de quai auront chacun trente-neuf pieds de longueur, ou quarante-huit pieds mesurés d'après le milieu de chaque pilastre, sur six pieds dix pouces d'épaisseur, comme ceux en retour des culées ; ils seront terminés par un pilastre pareil aux précédens.

15. Tous les murs précédens et leurs pilastres, ainsi que les culées, seront élevés aplomb de chaque côté, et arasés de niveau à la hauteur de trente-quatre pieds neuf pouces, à compter du dessus des plus basses eaux ; on ajoutera cependant aux paremens extérieurs des murs et pilastres, un fruit d'une ligne pour chaque pied de hauteur au-dessus des socles et retraites. Les têtes du pont seront élevées aplomb.

16. Chaque mur de rampe aura cinquante-deux toises de longueur entre les pilastres des murs de quai et les socles qui doivent les terminer, ou cinquante-trois toises trois pieds six pouces, à compter du milieu du pilastre au milieu du socle : leur épaisseur sera, contre les pilastres, de six pieds dix pouces, réduite à quatre pieds dix pouces à leurs extrémités : on terminera ces murs à trente-quatre pieds neuf pouces de hauteur contre les pilastres, et à seize pieds trois pouces joignant les socles ; le tout du dessus des basses eaux.

17. Les socles auront six pieds de long sur quatre pieds de large, et la même hauteur que les murs de rampe à leurs extrémités ; leur saillie sera d'un pied d'après le parement de ces murs.

18. Tous les murs, les pilastres et socles, excepté les culées des grandes arches ; leurs pilastres et les piles seront fondés au moins à six pouces au-dessous des plus basses eaux de la rivière, sur pilotis, racinaux et plate-formes de charpente, et élevés en fondation jusqu'à dix-neuf pieds, hauteur à laquelle se trouveront établis les chemins de halage; ils seront élevés aplomb de chaque côté, et auront quatre pouces d'épaisseur de plus que celle prescrite ci-devant pour les mêmes murs; et ce pour former une retraite de deux pouces de chaque côté ; on ajoutera de plus ce qu'exigera le fruit qui sera donné aux paremens des murs et des pilastres. La première assise du bas des murs de quai et des murs

de rampe, ainsi que des pilastres et socles à leurs extrémités, formera socle avec retraite de trois pouces par le dessus.

19. Les voûtes auront cinq pieds d'épaisseur à la clef, après avoir été dérasées de niveau en place, hauteur à laquelle les têtes, la maçonnerie des reins, celle des culées, des murs et pilastres joignant, compris ceux de quai, seront, comme on l'a dit ci-devant, arasés de niveau.

20. Chaque tête du pont sera couronnée au-dessus de l'arasement général, jusqu'aux pilastres de l'extrémité des culées, par un cordon ou tore, filet et cavet au-dessous, dont la hauteur totale, en une seule assise, sera de vingt-sept pouces, et la saillie de dix-neuf pouces.

21. Le couronnement des pilastres et des murs sera composé d'une plinthe, d'un pied de saillie, et de pareille hauteur que le tore, avec même filet et cavet au-dessous, le tout aussi en une seule assise.

22. Les avant et arrière-becs seront aussi couronnés d'une plinthe, avec filet et cavet au-dessous, dont la hauteur sera de deux pieds, et la saillie de huit pouces, également en une seule assise; le tout sera recouvert d'une autre assise qui aura aussi deux pieds de hauteur, formant sur le devant un carré de six pouces de hauteur, et le surplus terminé en demi-cône pour tenir lieu de chaperon.

23. Les demi-piles qui joindront les culées seront faites, dans toutes les parties, conformément à la moitié d'une pile qui serait coupée verticalement sur le milieu de sa longueur.

24. Pour l'écoulement des eaux du dessus du pont, il sera pratiqué, en construisant les voûtes, deux ouvertures à chaque tête des arches, espacées à trente-trois pieds trois pouces du milieu de chaque arche, et à huit pieds du parement des têtes; ce qui sera fait pour chaque ouverture, au milieu d'un voussoir,

dont la pierre sera la plus dure; ce voussoir sera prolongé jusqu'à la hauteur du dessus du pavé du pont, et aussi de trois pouces au-dessous de la douelle; l'ouverture aura six pouces de diamètre par le haut, sur dix-huit de hauteur, et neuf pouces dans le surplus de sa longueur : la partie supérieure du voussoir sera encastrée de trois pouces dans son prolongement, et les joints en seront mastiqués et cimentés avec soin.

25. On fera des trottoirs de six pieds de largeur de chaque côté des têtes du pont, lesquels auront quinze pouces de hauteur réduite et six pieds de largeur jusqu'aux pilastres des extrémités des culées. En continuation de ces trottoirs, on construira des banquettes le long des murs en retour des culées et des murs de quai; leur largeur sera de quatre pieds six pouces, pour ne pas excéder la saillie des pilastres qui termineront ces murs.

26. Les trottoirs, les parapets, le couronnement des têtes du pont et des culées, y compris un pied de hauteur, du nu desdites têtes et murs au-dessous du couronnement, seront raccordés entr'eux par un quart de cercle faisant tour creuse en dehors du pont, dont le rayon, pour le parement extérieur des parapets, sera de six pieds six pouces, et celui pour les trottoirs de quatorze pieds six pouces; ces arrondissemens seront portés par des pendentifs qui auront leur naissance à dix pieds des couronnemens.

27. Il sera posé un socle sur chaque pilastre, lequel aura neuf pieds en carré, quatre pieds sept pouces six lignes de hauteur, compris neuf pouces pour le cavet et le filet qui le termineront: chaque socle de l'extrémité des murs de rampe aura six pieds de longueur, quatre pieds de largeur, et quatre pieds sept pouces six lignes de hauteur.

28. On élèvera des parapets sur les têtes du pont et sur les murs en retour des culées et ceux du quai, dont la longueur

totale entre les socles sera, pour chaque côté du pont, de cent quarante-neuf toises; ces parapets auront deux pieds d'épaisseur à leur nu, et trois pieds sept pouces six lignes de hauteur au-dessus des cordons et plinthes, compris dix-huit lignes pour le bombement des bahuts; l'assise qui formera ce bahut portera une plinthe au-dehors de quatorze pouces de hauteur et de trois pouces de saillie.

29. Il sera aussi posé des parapets sur les murs de rampe dans la longueur, pour chaque côté du pont, de cinquante-deux toises; ils n'auront que deux pieds six pouces de hauteur, compris le bombement du bahut, lequel ne portera point plinthe; leur épaisseur sera également de deux pieds. (*Dans l'exécution on ne leur a donné que vingt-un pouces d'épaisseur.*)

30. Le dessus du pont sera pavé entre les trottoirs avec gros pavé d'échantillon jusqu'à l'alignement du dehors des pilastres des murs de quai; les trottoirs et les banquettes le seront en pavé de six pouces d'échantillon, entre les parapets et le cours d'assise de pierre qui terminera ces trottoirs et banquettes.

31. On posera deux marches et une borne armée de fer à chaque bout des trottoirs du pont. Il sera aussi posé vingt-deux plus petites bornes demi-rondes au-devant des parapets de chaque mur de rampe.

32. Pour soutenir les berges de la rivière au droit des chemins de halage et des remblais qui seront faits des deux côtés du pont, on construira six cent soixante-dix toises de longueur de perrés à pierres sèches, dont le pied sera retenu avec pilotis, qui seront coiffés d'un chapeau à six pouces au-dessous des basses eaux et même plus bas, si cela est possible.

Dimensions à compter du dessous des basses eaux.

33. La fondation des piles et des culées du pont sera établie sur pilotis, racinaux et plate-formes de charpente, et, s'il se peut, jusqu'à huit pieds trois pouces au-dessous des plus basses eaux, dont neuf pouces formeront pied-droit sous la naissance; le surplus sera fait au pourtour des piles et demi-piles avec retraite à chaque assise, qui formeront ensemble un empatement de sept pieds d'après le nu desdites piles; en sorte que l'épaisseur de la maçonnerie du corps carré des piles sera de vingt-sept pieds sur la plate-forme de charpente, et de trente-sept pieds trois pouces aux culées, compris les demi-piles et leur empatement : le reste du parement des culées, des pilastres et murs en retour desdites culées jusqu'aux arches de halage, sera aussi fondé sur pilotis, racinaux et plate-formes, à la même profondeur de huit pieds trois pouces au-dessous des basses eaux; mais l'empatement sera seulement de dix-huit pouces, à compter du nu du parement de ces murs, ce qui sera fait en deux retraites, dont la première sera de onze pouces trois lignes à quatre pieds six pouces au-dessus de la plate-forme, et la seconde de six pouces neuf lignes à trois pieds plus haut.

Qualités et dimensions des matériaux, ainsi que la façon et pose d'une partie d'iceux.

BOIS.

34. Les bois de charpente seront tous de chêne; ils proviendront en général des forêts qui se trouvent le long des rivières d'Oise et de Marne; il seront tous droits et sains, sans aubier, roulures, pourriture ni nœuds vicieux; ils ne seront point échauffés, gras, gelifs ni tranchés; les bois carrés seront à vive

arête, ou à un pouce près seulement sur un côté après que l'aubier aura été ôté ; l'on n'emploira point de croûte dans les racinaux, plate-formes et autres bois de sciage.

35. Tous les pilotis des fondations seront en grume et sans écorce; ceux des culées, des piles et demi-piles des grandes arches, auront environ dix-huit pieds de longueur, et les autres vingt-quatre pieds : leur grosseur à tous sera d'un pied de diamètre, mesurée au milieu de leur longueur et sans écorce ; le petit bout sera taillé en pointe sur dix-huit pouces de hauteur; on y réservera un carré de deux pouces pour porter exactement sur le fer dont il sera armé.

36. Les chapeaux auront environ quatre toises de longueur sur un pied de grosseur en carré ; les racinaux un pied de large et huit pouces de hauteur; les madriers des plate-formes seront en bois de sciage de neuf et dix pouces de largeur, sur quatre pouces d'épaisseur; ils seront dressés par les côtés, et posés jointivement.

37. Les jambes de force des cintres auront neuf pieds de long et dix-huit sur vingt pouces d'équarrissage; les arbalétriers auront depuis dix-huit jusqu'à vingt-trois pieds de longueur et quinze à dix-huit pouces de grosseur. (*La difficulté de trouver des bois de cette grosseur a obligé d'en employer une assez grande quantité qui n'avait que quatorze à quinze et quinze à seize pouces d'équarrissage, ce qui a rendu les cintres un peu faibles ; c'est pourquoi il conviendra en pareille circonstance de les employer de grosseurs indiquées au présent article, ou bien de rapprocher convenablement les fermes entr'elles*). Les moises pendantes auront dix pieds de longueur sur quinze pouces en carré pour chaque pièce; chaque cours de moises transversales aura quarante-huit pieds de longueur en deux parties, et la grosseur de chaque pièce sera de neuf sur dix-huit pouces; les guettes ou contre-

fiches qui seront placées pour empêcher le déversement des fermes, auront vingt-deux pieds de longueur réduite, et neuf pouces de grosseur d'équarrissage; chaque cours de couchis, dont les pièces seront au plus de douze pieds pour l'espacement des deux fermes, aura huit pouces d'équarrissage; le surplus de ce qui concerne les cintres sera détaillé ci-après à l'article 174.

38. Les pieux des perrés auront environ douze pieds de longueur et dix pouces de diamètre moyen, sans écorce; leurs chapeaux depuis dix-huit pieds jusqu'à vingt-quatre pieds de longueur et dix pouces d'équarrissage; les liernes de la seconde file de pieux auront même longueur que les chapeaux et huit à neuf pouces de grosseur, ainsi que les entre-toises, dont la longueur sera d'environ douze pieds pour chacune.

39. Les pieux de batardeau auront environ vingt-quatre pieds de longueur et neuf pouces de diamètre moyen sans écorce; les liernes six pouces d'équarrissage; les palplanches environ vingt-un pieds de longueur et huit à neuf pouces de largeur; leur épaisseur sera de quatre pouces.

40. Les madriers, les dosses et croûtes qui seront employés aux ponts de service destinés au transport des matériaux, seront de bois de chêne, et auront quatre pouces d'épaisseur : on pourra les employer en bois blanc aux autres ponts de service et échafauds, et leur donner moins d'épaisseur.

41. Ces ponts de service et échafauds seront établis sur des pieux coiffés de leurs chapeaux, et sur des chevalets; le tout de bois de chêne, dont les dimensions et espacemens seront fixés suivant les circonstances.

MAÇONNERIE.

42. La chaux sera prise à Vernon, au port de Marly, à Chaville, et autres endroits qui ne seraient pas plus éloignés, et où

sa qualité serait d'ailleurs reconnue aussi bonne que celle de Vernon et de Chaville, laquelle foisonne à peu près au double.

43. Le sable sera pris dans la rivière de la Seine; il sera dragué et ensuite passé à la claie.

44. Le ciment sera fait de tuiles ou tuileaux, et non de briques; il sera pris à Saint-Germain et à Saint-Cloud, ou autres endroits qui seraient à peu près à la même distance de Neuilli.

45. L'on emploiera deux espèces de mortier; la première, communément nommée *mortier blanc*, sera composée d'un tiers de chaux éteinte et deux tiers de sable bien essuyé; l'autre espèce de mortier sera composée de moitié de chaux et de moitié de ciment; cette proportion, qui excédera d'un dixième la quantité de chaux qu'il est d'usage d'employer dans la composition de cette espèce de mortier, ayant été reconnue nécessaire d'après l'expérience qui a été faite avec de la chaux de Vernon.

46. La chaux sera bien broyée dans un bassin, soit avec le sable ou avec le ciment, au moyen d'une machine à cheval, dont l'axe sera placé au centre de ce bassin; le bras de levier auquel sera attaché le cheval, portera des montans de bois rond qui descendront jusque près le fond du bassin; les montans passeront dans une traverse qui sera fixée à l'arbre au-dessous du bras du levier : il ne sera point permis de mettre d'eau en faisant le mortier; on aura soin de le tenir à couvert, au moins dans le temps de pluie, sous des bannes ou hangars de planches, et de n'en faire à-la-fois que la quantité de chaque espèce qui pourra être employée dans la journée : le mortier qui pourra rester à la fin de la journée, sera aussi couvert pour qu'il ne soit point lavé par les pluies de la nuit.

47. Le ciment que l'on emploiera pour le mortier qui sera destiné à couler et faire les joints des pierres, sera passé au tamis, et la chaux de ce mortier sera nouvellement éteinte.

48. Le moellon sera dur; il proviendra des carrières de Passy, de Nanterre, Saint-Cloud, Sèvres, Chaville, du port de Marly, et autres endroits qui seront à peu près éloignés également de Neuilli. Mais comme dans plusieurs de ces carrières il se trouve des bancs tendres, il ne sera permis d'employer que le moellon qui proviendra des bancs les plus durs; ce moellon sera fort et gissant; on rebutera celui qui serait rond, nommé communément *têtes de chat.*

49. Ce moellon sera posé à bain dans le mortier de chaux et sable par arase et en liaison en tous sens; il sera arrangé soigneusement à la main et battu au têtu pour le tasser sur ses lits et le serrer en ses joints jusqu'à ce que le mortier y regonfle; les joints seront ensuite garnis de petits moellons et d'éclats de pierre; le tout bien serré au marteau pour qu'il n'entre que le mortier nécessaire et qu'il ne reste aucun vide dans le corps de la maçonnerie.

50. La pierre de taille sera dure; elle proviendra principalement des meilleurs bancs de la carrière qui est située sur le bord de la forêt de Saint-Germain près Poissy. Au défaut de cette carrière, on pourra avoir recours aux bancs les plus durs de celle de Saillancourt, à deux lieues sur la droite de Meulan, à celles de Chérance et de Vetheuil, et aux bancs qui ont été nouvellement découverts près Folainville; le tout assez proche de la Seine, jusqu'à environ trois lieues au-dessus de Mantes.

51. Les libages pourront provenir de la carrière de Poissy mentionnée ci-devant, des deux bancs durs des carrières de Passy, de celle de Montesson près et au-delà de Chatou, de celle des environs de Saint-Germain et de Sèvres, et autres endroits circonvoisins jusqu'à deux ou trois lieues au plus de distance de Neuilli, et dont la pierre soit dure et à peu près de pareille qualité et hauteur que celles de Poissy et Passy: les bancs

portant depuis dix-huit pouces jusqu'à deux pieds six pouces de hauteur.

52. Ces libages seront seulement débrutis ; ils auront une hauteur d'appareil égale à celle des assises et des rangs de voussoirs, des pierres de taille des paremens, au derrière desquels ces libages seront placés. Chaque libage contiendra environ quinze à vingt pieds cubes, et même plus lorsque cela se pourra ; ils seront en général dressés sur une face et à peu près retournés d'équerre sur les joints, pour être posés plus jointivement entr'eux et contre les quartiers de pierre de taille. On aura soin de choisir et numéroter dans les chantiers les libages qui conviendront à chaque assise, comme cela se doit pratiquer pour la pierre de taille.

53. Les pierres d'appareil en général seront toutes bien ébousinées et essemillées jusqu'au vif ; elles seront sans fils ni moyes. On pourra cependant employer aux assises courantes des fondations et au-dessus, les pierres dont les fils n'approcheront pas des paremens plus près que de quinze pouces, et qui ne seront pas parallèles à ces mêmes paremens ; mais tous les voussoirs, les coussinets, les pierres des avant et arrière-becs de leurs couronnemens et capes, celles des pilastres, cordons, plinthes et parapets, et socles sur lesdits pilastres, seront sans aucun fil ni moye. A l'égard des quartiers et libages qui seront employés aux remplissages derrière les paremens et en prolongation de coupe, les fils et moyes n'y seront pas considérés comme étant vicieux. Les pierres de taille et les libages qui, par leur défectuosité ou défaut d'appareil et de grosseur, ne pourraient point convenir pour être employés, soit en paremens, soit en libages, seront réduits en moellons, lors même qu'ils auraient été taillés et voiturés sur le tas.

54. Les pierres des paremens des murs et voûtes seront proprement taillées et retournées d'équerre en leurs lits et joints, ou suivant la coupe exacte tendante au centre pour les voûtes, les voussures, les pendentifs et les avant et arrière-becs. Ces pierres seront sans démaigrissement dans toute l'étendue des lits; leurs joints montans seront aussi de franc appareil aux têtes et aux voussoirs, et au moins sur les deux tiers de leur longueur de coupe aux autres voussoirs d'entre les têtes. A l'égard des assises courantes, le démaigrissement des joints montans des carreaux et ceux correspondans aux boutisses, ne pourra avoir lieu qu'au-delà des deux tiers de la largeur de ces carreaux.

55. Toutes ces pierres seront bien dégauchies en leurs paremens, lits et joints carrés; ces paremens seront sans miroirs ni épaufrures; ils seront bien taillés, piqués et bouchardés entre des ciselures que l'on relèvera au pourtour des arêtes, lesquelles arêtes seront sans écornures et bien avivées aux paremens vus.

56. Les assises du parement du pourtour de la fondation des piles et culées, jusqu'à la hauteur des basses eaux, seront posées par carreaux et boutisses, les uns de cinq pieds de long et quatre pieds de large, les autres de quatre pieds de tête et cinq pieds de queue, ou à peu près; ce qui donnera quatre pieds cinq pouces quatre lignes d'épaisseur réduite; leur hauteur sera de dix-huit pouces au moins.

57. Les assises du parement des murs des culées dans les parties qui se trouveront au-delà des têtes du pont, celles des murs en retour, des murs de quai et murs de rampe avec leurs socles au bas, celles des socles et des pieds-droits de l'intérieur des arches de halage, celles des pilastres, ainsi que des tympans au droit des reins des voûtes, seront aussi faites par carreaux et boutisses: les uns d'environ quatre pieds de long et vingt-sept pouces de large; les

autres d'environ trente-trois pouces de tête et trois pieds de queue. Les dimensions de ces pierres seront assujéties à ce qu'exigeront les pilastres et leurs saillies, ainsi que leurs bossages et ceux des têtes des arches de halage, tant pour la solidité de l'ouvrage que pour l'agrément de l'appareil. L'épaisseur réduite de ces assises sera de deux pieds six pouces huit lignes, non compris les bossages mentionnés ci-dessus, qui auront quatre pouces de saillie au-delà de celle de refend; la hauteur de ces assises sera de dix-huit pouces ou environ, suivant que les bancs des carrières pourront le permettre.

58. Les pierres des assises des avant et des arrière-becs, depuis le corps carré des piles et demi-piles, auront en leur parement au moins cinq pieds de longueur sur autant d'épaisseur réduite; on observera de placer les plus forts quartiers aux parties les plus saillantes; la hauteur de ces assises sera de dix-huit pouces ou environ, suivant que l'appareil l'exigera pour se raccorder avec les voussoirs correspondans.

59. On tracera les épures des arches et celle des voussures sur un terrein ferme, et qui aura été dressé en pente à raison d'un pouce par toise, mesurée dans le sens du plus petit diamètre des arches; ce terrein sera ensuite recouvert d'une maçonnerie de moellon en mortier de chaux et sable de huit pouces d'épaisseur, laquelle sera recouverte d'une aire de plâtre bien frottée et unie à la truelle. La courbure de l'arc supérieur des grandes arches, dont le rayon doit avoir vingt-cinq toises un pied de longueur, ne pouvant être tracée au simbleau, le sera par retombée que l'on calculera pour chaque voussoir, d'après la corde de cet arc; la longueur de cette corde sera de cent vingt-deux pieds deux pouces, et la flèche de treize pieds deux pouces. On en usera de même pour les autres arcs de la voûte que l'on pourrait craindre de ne pas pouvoir tracer exactement au simbleau.

60. On compte, d'après l'observation faite sur une arche de pareille ouverture de cent vingt pieds, que les voûtes tasseront de dix-huit pouces à peu près; savoir, un pied sur les cintres avant que les clefs soient posées, et six pouces après la pose de ces clefs; c'est pourquoi il faudra poser ces voussoirs sur une courbure qui sera de dix-huit pouces plus haute dans son milieu que les mesures indiquées ci-devant, d'après lesquelles l'appareil aura été tracé.

61. Les voussoirs des têtes et des voussures des grandes arches auront alternativement six pieds et quatre pieds de longueur de douelle, sur quatre pieds six pouces et cinq pieds et demi de longueur de coupe; ils seront prolongés en coupe jusqu'à environ neuf pieds, à compter du grand arc; les clefs, et douze contre-clefs de chaque côté des clefs, seront d'un seul quartier, et auront depuis cinq pieds six pouces de longueur jusqu'à six pieds huit pouces, pour être arasés de niveau à six pouces plus bas, à cause des épaufrures qui peuvent arriver à l'extrados des voussoirs de l'arc supérieur lors du décintrement des voûtes. On s'assujétira au surplus pour les dimensions de la partie inférieure des têtes, à ce qu'exigera l'appareil des voussures, des avant et arrière-becs, et à leur liaison avec les assises et les voussoirs correspondans; ces voussoirs auront dix-sept pouces ou à peu près d'épaisseur à leur douelle, ce qui donnera six lignes trois quarts de plus à l'extrados des clefs qui auraient les dix-sept pouces à leur douelle.

62. L'intervalle d'entre les têtes sera rempli alternativement de sept et huit voussoirs, qui auront environ quatre pieds huit pouces de longueur de douelle; ceux des parties inférieures des voûtes, jusqu'aux deux tiers de leur hauteur, auront alternativement quatre pieds six pouces et cinq pieds six pouces de longueur; et ceux du reste de la voûte, dans sa partie supérieure, auront tous cinq pieds de longueur de coupe.

63. Les voussoirs des arches de halage auront depuis deux pieds de longueur de coupe, mesurés aux clefs, jusqu'à trois pieds pour les parties inférieures : la longueur des douelles sera de deux pieds six pouces et de quatre pieds alternativement, sur trois pieds et deux pieds trois pouces de queue.

64. Chaque assise sera posée de niveau dans tout le pourtour des piles et culées des avant et arrière-becs, et des murs qui accompagneront les culées de l'un à l'autre côté du pont; les rangs des voussoirs correspondans à chaque tête et pour toutes les arches, seront aussi de niveau entr'eux; les cordons, les plinthes, parapets et bahuts, seront bien alignés et posés également de niveau dans tout le pourtour du pont, et aux murs de rampe suivant leur inclinaison.

65. Les pierres des assises seront posées alternativement en carreaux et boutisses; les joints de lit auront trois ou quatre lignes de hauteur; ceux des voussoirs, jusqu'à la hauteur des deux tiers de la voûte, dont le tassement se fait en général vers la douelle, auront six lignes de hauteur, et ceux des arcs supérieurs trois ou quatre lignes au plus, comme aux cours des assises, parce que dans cette partie ils tendent à s'ouvrir du côté des douelles; les joints montans auront une ou deux lignes au plus de largeur. Toutes les pierres seront posées sur cales de bois tendre, lesquelles ne seront pas placées plus près qu'à six pouces des paremens et des angles des pierres : elles seront ensuite toutes coulées et fichées avec mortier de ciment en leurs lits et joints montans, après les avoir mouillées; on se servira pour cet effet de fiches de fer plat, et dentelées; le mortier qu'on y introduira ne sera point trop épais.

66. On différera de couler et de ficher les joints de la clef et de quinze cours de voussoirs de part et d'autre dans l'étendue de chaque voûte, jusqu'à ce que ces cours de voussoirs aient été

serrés entr'eux avec des coins, comme on l'expliquera ci-après. (*Dans l'exécution on a supprimé les coins, parce qu'on a remarqué en construisant le pont de Mantes que plusieurs des voussoirs avaient été cassés en chassant ces coins.*) On aura seulement soin jusqu'alors de couler ces voussoirs sur environ six pouces de hauteur, pour les affermir entr'eux et les empêcher de se déranger pendant qu'on en chassera les coins : on empêchera aussi, autant qu'on le pourra, qu'il ne tombe quelque chose entre les joints.

67. Tous les joints des assises de pierre de taille et des voussoirs seront garnis d'étoupes aux paremens pour empêcher que le mortier ne se perde; après que les pierres auront été bien coulées et fichées, on garnira les joints dans les parties qui se trouveront démaigries au derrière, avec des éclats de pierre dure, qui seront serrés au marteau et avec le bout de la fiche partout où il pourra entrer.

68. A mesure qu'on élèvera les assises de pierre et les cours de voussoirs, on en garnira le derrière avec libage et maçonnerie de moellon en mortier de chaux et sable, et le tout sera arasé à la hauteur des assises et suivant la coupe des voussoirs.

69. Avant de poser une nouvelle assise ou un autre rang de voussoirs, on retaillera les pierres et les libages, pour en régler plus exactement la hauteur et en dégauchir les coupes, suivant les plans convenables; les balèvres des paremens et les bossages qui pourraient avoir été réservés pour faciliter la pose des pierres, seront aussi retaillés.

70. Les pierres qui seront employées au couronnement du pont et des murs qui accompagneront les culées, les plinthes des avant et arrière-becs et les parpains des parapets sous les bahuts, auront au moins quatre ou cinq pieds de longueur; ces parapets seront faits en deux assises faisant parpain, compris celle qui

formera le bahut : on réservera les plus fortes pierres que l'on pourra tirer des carrières et voiturer, pour les employer à ces bahuts et aux socles du dessus des pilastres, ainsi que pour terminer les avant et arrière-becs des piles et demi-piles.

71. L'assise courante de pierre du devant des trottoirs aura vingt-un pouces de hauteur et un pied de largeur ; on donnera cinq ou six pieds de longueur à chaque pierre.

72. Les deux marches de chaque bout des trottoirs auront, l'une trente-six pieds, l'autre trente-trois pieds de pourtour sur dix-huit pouces de largeur et six pouces de hauteur ; chaque pierre aura six et sept pieds de longueur.

73. Chacune des quatre bornes qui seront posées aux bouts des trottoirs, aura cinq pieds huit pouces de longueur, compris trois pieds de culasse : elles seront rondes et auront vingt-un pouces de grosseur au-dessus de la culasse, réduite à dix-huit pouces à leur tête.

74. Les vingt-deux petites bornes qui seront posées au-devant des parapets de chaque mur de rampe, auront trois pieds huit pouces de hauteur, compris vingt-un pouces de culasse ; elles seront arrondies sur le devant et plates au derrière ; leur grosseur sera de quinze pouces au-dessus de la culasse, réduite à douze pouces au haut. (*On a supprimé ces petites bornes de pierre.*)

75. Tous les joints des pierres seront dégradés avec un crochet de fer pour ôter les mortiers des coulis jusqu'à environ un pouce de profondeur ; on les mouillera et on posera le nouveau mortier de ciment : il sera frotté à la truelle à différentes reprises, jusqu'à ce qu'il soit sec et noir, observant de ne le pas faire déborder la pierre ; on aura de plus l'attention, pour les paremens du dessus des basses eaux, de passer à différentes reprises dans ces joints un fer recourbé, servant aussi de crochet, pour

dégrader les joints, lequel fer sera d'une épaisseur égale à celle des joints, pour en frotter le mortier et le repousser jusqu'à environ demi-ligne des paremens, afin que les arêtes de la pierre soient apparentes.

FERS.

76. Tout le fer proviendra des forges du Berry; il sera bien corroyé, doux et non cassant; les fers ou sabots des pilotis auront quatre branches, chacune de dix-huit pouces de longueur, vingt lignes de largeur et quatre lignes d'épaisseur; elles seront soudées avec soin au sabot, sans être affaiblies ni brûlées; le sabot aura trois pouces en carré par le dessus, se terminant en cône sur six pouces de longueur, un peu arrondi à sa pointe : chaque branche sera percée de quatre trous, pour être attachée au pilotis avec autant de forts clous qui seront forgés exprès; le tout pèsera vingt-cinq livres.

77. Les chevilles qui seront employées pour arrêter les plateformes sur les racinaux, auront six à sept pouces de longueur, et pèseront demi-livre : celles qui serviront à arrêter les liernes des batardeaux et des perrés contre les pieux, ainsi que les entretoises sur les liernes, tant des batardeaux que desdits perrés, auront dix à onze pouces de longueur, et pèseront une livre.

78. Les boulons pour les châssis des batardeaux auront douze pouces de longueur entre œil et tête, et neuf lignes de grosseur; ils pèseront, avec leurs rondelles et clavettes, chacun trois livres.

79. Les crampons de fer qui seront scellés pour retenir les jambes de force qui doivent porter les fermes des cintres, auront dix-huit lignes de largeur et quatre lignes d'épaisseur : leur poids sera pour chacun de treize livres.

80. Les crampons qui seront employés aux avant et arrière-becs et aux voussoirs, ainsi qu'aux pierres et libages des coussinets, et autres endroits où ils pourront être nécessaires, auront

dix-huit pouces de longueur, excepté ceux des coussinets de l'assise au-dessous et des voussures qui seront appuyées contre ces coussinets, lesquels auront deux pieds de longueur; le tout compris deux pouces de crochet à chaque bout, à compter du dessus du crampon; leur grosseur sera de neuf lignes en carré : les petits crampons pèseront chacun trois livres, et les grands quatre livres.

81. Les boulons des moises de cintres auront, les uns trente pouces, et les autres trente-six pouces de longueur entre les têtes et les vis, sur quinze lignes de grosseur; ils pèseront vingt-une livres, poids moyen, compris l'écrou : les petits boulons qui serviront à assembler les entre-toises taillées à redent, auront neuf pouces de longueur entre la tête et la vis, sur neuf lignes de grosseur, et pèseront trois livres compris l'écrou.

82. Les boucles ou organaux auront chacun huit pouces de diamètre intérieur; ils seront faits en fer carré et forgé, de vingt lignes de diamètre, bien arrondis et soudés; le crampon ou lacet sera doublé, et aura dix-huit lignes de grosseur sur trois pieds neuf pouces de longueur pour chaque branche, compris l'œil dans lequel passera la boucle, et un crochet de trois pouces au bout : le tout doit peser quatre-vingts livres.

83. La plate-bande de fer qui sera posée au haut de l'assise courante du devant des trottoirs du corps du pont, aura six pouces de hauteur et six lignes d'épaisseur, sur une longueur totale, pour les deux côtés du pont, de deux cent quarante-deux toises quatre pieds. Cette plate-bande sera encastrée de son épaisseur dans la pierre, et retenue au droit de chaque joint montant avec deux crampons de fer; l'un de deux pieds six pouces de longueur, compris crochet au bout, et de quinze lignes de grosseur, sera posé obliquement et scellé dans la maçonnerie sous

le pavé du trottoir ; sa tête sera plate et perdue, arasant le dehors de la plate-bande; l'autre aura deux pieds quatre pouces de longueur, compris aussi crochet, sur trois pouces de largeur et neuf lignes d'épaisseur; il sera posé verticalement, encastré de son épaisseur dans la pierre, et recourbé pour embrasser la plate-bande par derrière, et la retenir par le dessus avec un crochet, dont le haut affleurera le dessus de la plate-bande, au moyen d'une entaille qui y sera faite ; l'autre bout de ce crampon sera scellé dans la maçonnerie du dessous de ladite assise. Chaque plate-bande de fer aura le plus de longueur qu'on pourra lui donner; leur assemblage entr'elles sera fait au droit de l'un des joints montans de l'assise courante de pierre, en coudant de quatre pouces l'une des deux plate-bandes pour recevoir l'about de l'autre, et retenant le tout avec les crampons mentionnés ci-devant.

84. Les quatre bornes des bouts des trottoirs (*ces bornes ont été faites en fonte de fer*), seront armées de quatre montans et de deux cercles de fer; les montans auront quatre pouces de large et huit lignes d'épaisseur, seront encastrés de leur épaisseur dans les bornes jusque et compris trois pouces de longueur dans la culasse; le haut de ces montans sera diminué de largeur pour se réunir jointivement sur la tête, et pour y être scellé en plomb dans son milieu, au moyen d'un crochet de trois pouces de long et d'un pouce de gros, qui y sera fait. Le scellement sera recouvert d'un boulon d'un pouce de gros, dont on aura réservé la place entre les crochets ; il sera fendu et ouvert par le bas sous les crochets pour y être scellé ; il portera une tête de trois pouces de diamètre par le dessus. Les cercles auront huit lignes d'épaisseur et quatre pouces de largeur ; ils seront retenus sur les montans avec deux boulons d'un pouce de dia-

mètre qui traverseront les bornes; les têtes de ces boulons seront rivées à l'affleurement de ces cercles. Le fer qui sera employé à chaque borne pèsera deux cent quarante livres.

PAVÉ.

85. Le pavé du dessus du pont sera de grès; il proviendra des rochers de Flins, Condecourt, Mezy, Equevilliers, tous endroits qui sont situés aux environs de Meulan; on pourra aussi en prendre à Chevaudot, dans la forêt de Marly et aux environs de Pontoise, le long de la rivière d'Oise; on choisira les roches les plus dures de ces différens endroits, et le pavé tendre sera rebuté, tant sur la carrière que sur l'ouvrage même après son emploi, au cas que l'on eût négligé de le choisir de bonne qualité. Tout ce pavé aura huit ou neuf pouces d'échantillon; il sera fendu régulièrement et sans démaigrissement au cul-de-lampe.

86. Le sable sera dragué dans la rivière; il sera graveleux et de même qualité que celui qui sera employé à la maçonnerie du pont.

87. Le pavé qui sera employé aux trottoirs et banquettes entre les pilastres, sera pris aux mêmes endroits mentionnés ci-devant; il aura 6 pouces en tout sens, sera refendu bien cubiquement, autant que cela se pourra; on le posera en mortier de chaux et ciment sur un massif de maçonnerie de chaux et sable, dont il sera parlé ci-après.

Indication de l'ouvrage à faire chaque année.

CONSTRUCTION.

88. On se propose de faire le pont en dix années; la première année sera employée à faire les approvisionnemens des matériaux, à construire les hangars pour mettre les bois et équipages à couvert, à établir les forges et disposer les chantiers et chemins provisoires.

89. Le chantier pour les cintres et autres gros bois de charpente sera principalement établi dans la grande avenue arrivant à Neuilli et autres endroits circonvoisins qui se trouveront élevés au-dessus des grandes eaux. On déposera aussi les pieux et autres bois des fondations et des batardeaux qui pourront être employés dans le courant de chaque campagne, dans l'île et sur le bord de la rivière du côté de Courbevoie, ainsi que sur la partie de l'île qui sera conservée et élevée. Les chantiers pour la pierre de taille et pour le moellon seront établis dans l'île et sur les autres terrains circonvoisins de la rivière dont on pourra disposer.

90. Les bassins pour éteindre la chaux seront aussi établis dans l'île et sur les bords de la rivière les plus à proximité de l'ouvrage, ainsi que les machines à cheval mentionnées ci-devant, article 46, qui seront construites pour faire le mortier.

91. On établira la forge et les magasins pour les équipages et outils, sur la partie de l'île qui sera conservée; les autres magasins et le bureau seront placés dans les hangars qui seront construits pour cet effet.

92. La deuxième année, on fondera la culée du côté de Courbevoie, avec les murs en retour, l'arche de halage, les murs de quais et les pilastres ; et le tout sera élevé jusqu'à 18 pieds 6 pouces au-dessus des plus basses eaux, excepté la partie de la voûte du pont, ainsi que la demi-pile et les voussures, lesquelles ne seront élevées que jusque et compris la septième retombée, ou à peu près à 10 pieds au-dessus des basses eaux.

93. La troisième année, on fondera l'autre culée dans l'île du côté de Neuilli, avec ses murs en retour; l'arche de halage, les murs de quais et les pilastres : le tout sera élevé aux différentes hauteurs mentionnées ci-devant.

94. La quatrième année, on fondera les deux piles dans l'île. Les voussoirs en seront élevés jusque et compris la septième

retombée. On fondera aussi les murs de rampe à la suite des quais situés du côté de Neuilli, et on les élèvera à pareille hauteur, de 18 pieds 6 pouces au-dessus des basses eaux, que ces murs de quais.

95. La cinquième année, on fondera et on élèvera aux mêmes hauteurs les deux dernières piles dans le bras de la rivière servant à la navigation.

96. La sixième année sera principalement employée pour achever de faire approvisionner sur les chantiers la pierre de taille et les libages, à les tailler et essemiller, à faire approcher et tailler tous les bois des cintres et des échafauds nécessaires. On fera aussi au moins six grues de 25 à 30 pieds de volée, et les autres machines et équipages nécessaires pour lever les cintres et les pierres. (*En place de grues, on s'est servi d'un treuil avec roues à peu près semblable à ceux qu'on emploie aux carrières à puits.*) On fondera les deux murs de rampe du côté de Courbevoie, pour occuper les meilleurs poseurs et maçons qu'il conviendra de conserver.

97. La septième année, on placera les ponts de service, les échafauds, et on montera les cintres, pour que les cinq arches puissent être construites tout de suite, fermées ensemble et décintrées de même. On continuera aussi d'élever de 8 à 9 pieds de hauteur, dès le commencement de la campagne, les culées du pont et celles des arches de halage, les murs en retour et murs de quai, de même que le dessus des piles et demi-piles, pour buter convenablement les arches : le tout sera fait de sorte qu'à la fin de la campagne et avant le temps des crues, tous les bois, tant des cintres que des ponts de service et des échafauds, soient enlevés et transportés aux chantiers et dans les magasins. Pour cet effet les pieux des échafauds seront battus pendant l'hiver qui précèdera cette campagne; on établira partie

des échafauds et des grues, et on commencera à lever les cintres dans la même saison.

98. La huitième année, on achèvera de construire les arches de halage, d'élever les culées, les murs en retour, murs de quai, leurs pilastres et les murs de rampe, et la plus petite partie de la maçonnerie des reins; on battra les pieux des perrés, excepté ceux sur la traverse du bras de la rivière qui sera supprimé, et on fera les perrés du côté de Courbevoie, ainsi que partie de ceux au côté opposé.

99. La neuvième année, on posera les voussoirs en prolongation de ceux des têtes; on achèvera la maçonnerie des reins; on posera les assises des tympans; et le tout sera arasé de niveau à 34 pieds 9 pouces du dessus des basses eaux.

100. Enfin pendant la dixième et dernière année, on posera les couronnemens du pont et des murs en retour, les parapets, trottoirs et pavés; on barrera le bras de la rivière du côté de Neuilly, pour faire passer toute l'eau sous le nouveau pont; ce qui sera fait au moyen d'une digue des perrés qui seront achevés, et aussi des remblais, qui feront l'objet d'un autre devis et adjudication, comprenant les terrasses et les chemins aux abords du pont.

Alignement et emplacement du pont.

101. On commencera par tracer exactement l'alignement du milieu du pont. Il sera, comme on l'a dit ci-devant, établi sur celui de la grande avenue des Champs-Elysées. Pour cet effet, on fera les coupures et ouvertures nécessaires aux maisons et murs de clôture qui masquent cette avenue jusqu'à la rivière : cet alignement sera prolongé de l'autre côté de la rivière jusque sur la butte de Chantecoq, à sept cent quatre-vingt-deux toises quatre pieds de distance du parement du côté de l'avenue du mur de clôture de la ferme des Religieux de Saint-Denis; auquel point du haut

de la butte, qui sera le centre d'une demi-lune mentionnée ci-après, et aussi contre ce mur de clôture, il sera placé des pièces de bois droites et bien équarries, de douze pouces de grosseur ; elles seront enfoncées au moins de six pieds dans le terrain, buttées et scellées solidement en maçonnerie de moellon avec mortier de chaux et sable : on les peindra de trois couches de blanc à l'huile, ainsi qu'une ligne noire d'un pouce de large, verticalement au milieu de ces pièces, pour servir réciproquement de visée, au moyen des trous de tarrières que l'on fera dans ces pièces à la hauteur de l'œil.

102. A deux cent vingt toises du parement dudit mur de clôture de la ferme des Bénédictins de Saint-Denis, et sur le même alignement, il sera posé et scellé de même dans l'île de Neuilli un poteau pareil aux précédens, lequel désignera le milieu du pont.

103. De part et d'autre, et à cent soixante-neuf pieds trois pouces de ce dernier poteau, il en sera planté et scellé un pareil et sur le même alignement, lequel se trouvera à cent dix toises au-delà du derrière des culées du pont.

104. Les têtes de ces trois derniers poteaux seront sciées de niveau entr'elles à vingt pieds de hauteur du dessus des plus basses eaux de la rivière ; on les peindra aussi à l'huile ; on gravera et tracera l'alignement en noir sur la tête de ces poteaux.

105. Ces poteaux étant ainsi bien établis, pourront servir à tracer les fondations et la construction du reste du pont, et à régler la hauteur de leurs différentes parties.

106. Pour la fondation de la culée du côté de Courbevoie et des murs qui doivent l'accompagner, on commencera par faire fouiller et enlever, jusqu'à la hauteur de l'eau, les terres sur l'étendue nécessaire pour l'emplacement, tant desdites fondations que des batardeaux et des manœuvres au pourtour : on fera les banquettes et glacis suffisans pour empêcher l'éboulement des

terres ; elles seront transportées derrière la culée à vingt toises au moins de distance.

107. Il sera fait soixante-onze toises de longueur de batardeaux, lesquels seront éloignés de douze pieds au moins de l'emplacement qui sera nécessaire pour établir cette fondation.

108. Chaque batardeau sera composé de deux files de pieux, dont la pointe sera brûlée pour la durcir ; on les espacera à quatre pieds sur leur longueur, et à dix pieds de l'autre sens, le tout mesuré de milieu en milieu : ils seront posés d'équerre entr'eux. Ces pieux seront alignés et battus, en commençant par le côté d'amont, avec un mouton de six cents livres de pesanteur, en sorte que leurs têtes puissent arriver à six pieds au-dessus des plus basses eaux, après qu'ils auront pris fiche d'environ trois pieds dans le tuf ou bon terrain ; à l'effet de quoi il sera fait des sondes particulières pour pouvoir fixer la longueur exacte qu'il faudra donner aux pieux pour chaque partie du batardeau.

109. Au côté extérieur des pieux, et à cinq pieds six pouces des basses eaux, on posera un cours de lierne de six pouces de grosseur : elles se recouvriront de quatorze pouces à leur bout sur l'un des pieux, à chacun desquels ces liernes seront arrêtées avec des chevilles de fer.

110. On posera des entre-toises sur les liernes et contre les pieux de deux en deux ; elles auront quinze pieds de longueur et huit pouces de grosseur, pour qu'il reste une force suffisante au droit des entailles, et aussi pour porter les échafauds qui pourront être établis sur les batardeaux ; les entre-toises seront entaillées de trois pouces par le dessous, à la rencontre des liernes, et seront arrêtées avec chevilles de fer sur ces liernes.

111. Contre chaque file de pieux, et du côté intérieur, il sera battu des palplanches jointives ; ce qui sera fait avec châssis de douze pieds de longueur comprenant l'espacement de trois pieux.

Chaque châssis sera composé de deux montans de vingt-un pieds de long, neuf à dix pouces de large et quatre pouces d'épaisseur, espacés à dix pieds et demi de milieu en milieu; deux traverses par le haut et autant par le bas, des mêmes grosseur et largeur, et chacune de douze pieds de longueur, pour former coulisses entr'elles de quatre pouces et demi de vide, au moyen des rondelles de fer de trois lignes d'épaisseur, que l'on mettra de chaque côté des boulons entre les traverses et les montans; le dessus des traverses du haut sera placé à six pouces près de celui des montans; et les traverses du bas le seront de façon que les montans étant battus, elles puissent arriver un peu au-dessus du terrain : elles seront boulonnées aux montans et arrêtées avec clavettes et goupilles. Les coulisses seront ensuite garnies exactement au chantier avec palplanches pareilles aux montans : elles seront jaugées parallèlement et dressées à la bisaigue par les côtés, ainsi que les montans, pour qu'elles puissent s'approcher jointivement.

112. On commencera par battre les montans, les traverses y étant boulonnées, et ce avec un mouton de cinq à six cents livres. Lorsque la tête des montans sera arrivée à la hauteur de celle des pieux, l'on garnira les coulisses des mêmes palplanches que l'on y aura présentées sur le chantier, et ce successivement, en partant de chaque montant et venant vers le milieu pour ne pas casser les boulons. Chaque châssis sera ainsi battu de suite de chaque côté du batardeau, à commencer par le côté qui sera le plus exposé au cours de l'eau, ce qui facilitera la pose des châssis qui seront au-dessous. On garnira d'une pareille palplanche, servant de clef, l'espace qui se trouvera entre les montans des différens châssis, parce que les traverses ou coulisses excéderont la largeur des montans pour servir de guides aux clefs. Cet excédant sera pourtant réglé de façon que les traverses

ne puissent pas se rencontrer et se nuire lors de la pose. L'on aura aussi l'attention d'étressillonner les châssis contre la poussée de l'eau, et de placer les entre-toises à mesure que ces châssis se trouveront battus.

113. On enlèvera et draguera ensuite les sables et vases de l'intérieur des batardeaux jusque sur le tuf ou bon terrain, et le plus bas qu'il sera possible, afin que la terre franche puisse être assise sur un terrain non sujet à filtration, autant que cela se pourra; ce qui est essentiel pour diminuer les épuisemens.

114. On remplira ensuite l'intérieur des batardeaux, jusqu'à l'affleurement du dessus des entre-toises, avec de la terre franche de bonne qualité, laquelle pourra être prise dans l'île de Neuilli : elle sera bien battue avec pilons à mesure qu'on l'emploira.

Epuisemens.

115. On établira ensuite aux angles du batardeau le nombre de pompes à chapelets et des autres machines hydrauliques nécessaires pour épuisser et tenir l'intérieur à étanche pendant tout le temps de la fondation de la culée : les chapelets auront dix-huit pieds de longueur et cinq pouces de diamètre intérieur; au moyen de quoi ils pourront servir pour les plus grandes eaux d'été; savoir deux pieds de puisard, neuf pieds trois pouces sous les plus basses eaux, qui est la profondeur à laquelle l'on pense que les plate-formes pourront être établies sur les pilotis; six pieds pour la hauteur du batardeau du dessus des basses eaux, et neuf pouces d'excédant jusqu'au hérisson pour la pente des gargouilles et auges.

116. On établira un échafaud solide sur pilotis pour y arrêter fixement les chapelets, de façon que l'on ne soit obligé de les déplacer que lorsqu'il sera question de les réparer. Les puisards

seront faits à six pieds au moins en dedans des batardeaux, et ils seront recreusés, s'il se peut, jusqu'à onze pieds sous les plus basses eaux. Lorsque l'eau sera baissée dans l'intérieur du batardeau, l'on fera une rigole perpendiculairement sur le milieu de la culée, pour la reconduire dans les différens puisards; il ne sera pas nécessaire qu'elle soit, à un pied près, aussi profonde que les puisards.

117. Les pompes seront percées de trois trous, chacun de trois pouces de diamètre, et de deux en deux pieds au-dessous du hérisson, ensuite bouchées avec des tampons de bois garnis de filasse. Ces trous serviront à laisser évacuer l'eau proportionnellement aux crues ou à l'abaissement de la rivière, afin de ne pas charger la puissance d'une colonne d'eau inutile. Pour cet effet, l'on substituera aux tampons d'un même rang, des gargouilles de bois, tournées et percées dans le milieu, lesquelles dégorgeront dans les auges, que l'on élèvera ou baissera d'autant.

118. Pour n'être pas obligé d'enlever l'eau par-dessus les batardeaux, lorsque la hauteur de la rivière ne l'exigera pas, il sera placé une ou deux caisses bien calfatées et goudronnées sur l'épaisseur des batardeaux, et de chaque côté, laquelle aura onze pieds de longueur, quatre pieds de hauteur, et un pied de largeur dans œuvre; elle sera composée de planches de chêne de deux pouces d'épaisseur, bien jointes et entretenues à chaque bout et au milieu avec un bâtis de charpente; celui du bout du côté intérieur sera divisé en trois parties, fermées chacune d'une porte à charnière, garnie de cuir en dedans; lesquelles seront ouvertes ou fermées, suivant que l'exigera la hauteur de la rivière.

119. Le service de chaque chapelet sera fait par douze journaliers, dont quatre travailleront ensemble, et seront relevés par un pareil nombre d'hommes de deux heures en deux heures,

sans discontinuer jour et nuit : ils seront payés au cent de tours de manivelle, et non à la journée ; et pour cet effet, il sera placé à chaque chapelet une machine propre à compter les tours de manivelle, conforme au modèle qui en sera remis.

120. L'on examinera s'il y a moyen, comme on le présume, d'employer le courant pour faire le tout ou partie des épuisemens ; ce qui sera préféré à tout autre moteur qui sera plus dispendieux. (*C'est ce dernier moyen qui a été employé.*)

Fondation de la culée.

121. Pendant que l'on fera les épuisemens, on tracera sur les liernes des batardeaux la ligne du milieu du pont et l'emplacement de la culée et de la demi-pile ; l'on fera la fouille et enlèvement des sables et terres qui s'y trouveront et à neuf pieds au moins de plus au pourtour de cet emplacement, avec les glacis au-delà sous un angle de 30 degrés : l'on approfondira ces fouilles autant que les épuisemens pourront le permettre, et, s'il se peut, à neuf pieds : le terrain sera dressé de niveau à cette profondeur ; l'on fera, à trois pieds près du glacis, les petites rigoles pour dériver l'eau dans celle du milieu. Les terres et les mauvais sables provenant de cette fouille seront transportés derrière la culée, au moins à quinze toises au-delà du sommet du glacis.

122. Tous les bois nécessaires pour la fondation seront, en plus grande partie, préparés avant de commencer les épuisemens ; les équipages pour le transport et le battage des pilotis seront aussi disposés pour cet effet.

123. On en usera de même pour la maçonnerie qui devra être employée aux fondations sous l'eau, le moindre retardement qu'occasionnerait ce défaut d'attention pouvant être très-préjudiciable, vu que les épuisemens deviennent chaque jour plus dif-

ficiles et plus dispendieux par l'élargissement continuel des voies d'eau : ces matériaux seront principalement déposés et préparés près la rivière du côté de Courbevoie : le surplus le sera dans l'île.

124. A mesure que la fouille du terrain se trouvera faite à la profondeur convenable, on tracera avec des piquets la place de chaque pilotis en treize files parallèles, à trois pieds un pouce neuf lignes de distance l'un de l'autre, et de milieu en milieu ; ils seront espacés à trois pieds deux pouces sur leur longueur, et tous posés d'équerre entr'eux. La première file de pilotis sera posée à sept pieds au-devant du nu du parement, il entrera quatre cent trente-six pilotis dans cette fondation.

125. Tous ces pilotis et les suivans seront ferrés et battus sans écorce au refus et avec autant de sonnettes qu'il sera possible d'en placer, pour être employées jour et nuit sans interruption. Le mouton pèsera au moins douze cents livres, et sera tiré par la force de trente-cinq hommes conduits par un enrimeur ou charpentier ; l'on pourra employer les journaliers à leur tâche pour chaque pilotis, jusqu'au refus qui aura été reconnu suffisant par l'inspecteur. Ces pilotis ne seront considérés avoir été battus à un refus suffisant, qu'après que l'on se sera aperçu qu'ils n'entreront plus que d'environ deux lignes par volée de vingt-cinq coups, et consécutivement pendant au moins dix volées de suite. On frettera les têtes de ceux qui auront besoin de l'être.

126. On commencera par battre les files de pilotis du milieu des culées et des piles, et successivement les autres, en finissant par les files extérieures. Tous ces pilotis seront dérasés de niveau entr'eux à la profondeur mentionnée ci-devant. On fera des tenons de quatre pouces de hauteur, et autant de longueur, et de trois pouces de largeur à chacun des pilotis de rive.

127. On assemblera un cours de chapeaux sur la tête des pilotis de rive, après que l'on y aura pratiqué des mortaises dans

le dessous, dont l'espacement sera fixé d'après celui des tenons. Ces chapeaux seront assemblés à mi-bois entr'eux sur la tête d'un pilotis, de façon qu'ils se recouvrent en quinze pouces de longueur : les bouts seront coupés en angle saillant d'un pouce pour mieux les retenir entr'eux.

128. Le dessus du côté intérieur des chapeaux sera refouillé en chanfrein, sur deux pouces de large par le haut et trois pouces dans le fond du chanfrein. Au droit de chaque pilotis l'on fera une entaille à queue d'aronde de quatre pouces de longueur et huit pouces de largeur par le bout, réduite à six pouces au collet, et de huit de hauteur.

129. On fera des tenons pareils à ceux des pilotis de rive, mais seulement de deux pouces de largeur aux autres pilotis, excepté à ceux qui ne se trouveront pas battus assez bien d'alignement pour que ces tenons puissent être faits sur la même ligne, prise perpendiculairement au milieu de l'entaille à queue d'aronde des chapeaux; lesquels pilotis seront recepés quatre pouces plus bas que les autres.

130. Sur ces pilotis on assemblera transversalement les racinaux, au moyen des mortaises que l'on fera de cinq pouces de profondeur par dessous, et au droit des tenons, ainsi que dans la queue d'aronde, au bout et dans le dessus, sur quatre pouces de hauteur, pour être placés dans chaque entaille des chapeaux. Ces racinaux excèderont de neuf pouces le dehors de la dernière file de pilotis; ils seront de deux et trois pièces, assemblés à moitié bois, se recouvrant en quinze pouces de longueur : cet assemblage sera fait sur la tête d'un pilotis, auquel on aura eu l'attention de réserver un tenon de huit pouces de longueur, pour passer au travers des deux racinaux : le tout sera posé de façon que les racinaux portent carrément et solidement sur lesdits pilotis et chapeaux.

131. On fouillera et enlèvera ensuite les sables, vases et mauvais terrains d'entre ces pilotis, sur dix-huit pouces de profondeur, à compter du dessus des racinaux, le tout au cas que le terrain soit de mauvaise consistance, et autant que les épuisemens pourront faciliter cette fouille. Cet espace sera garni ensuite de bonne maçonnerie de moellon, posé à bain de mortier de chaux nouvellement éteinte et de sable, jusqu'à l'affleurement du dessus de ces racinaux. Cette maçonnerie sera bien tassée sur le terrain, et garnie entre les moellons pour qu'il n'y reste aucun vide. On observera de poser de petits libages sur le devant, et qu'ils soient assez forts pour qu'étant appuyés contre les pilotis, ils ne puissent sortir en dehors.

132. On posera ensuite les madriers de plate-formes sur les racinaux; le premier sera chanfreiné d'un pouce, pour être placé en recouvrement le long et à l'affleurement des chapeaux; les autres seront posés bien jointivement entr'eux et le précédent.

133. Les madriers auront douze à quinze pieds de longueur; ils seront posés en liaison de l'un à l'autre au moins de trois ou six pieds; leur bout se terminera jointivement sur le milieu d'un racinal, et le dessous portera immédiatement sur les racinaux et sur la maçonnerie d'entre iceux, au moyen d'une aire de mortier que l'on y étendra à mesure de la pose, pour qu'il ne se trouve aucun vide au-dessous; on attachera ensuite ces madriers avec des chevillettes de fer barbelées sur les racinaux aux extrémités et autres endroits seulement où elles seront nécessaires, au lieu de chevilles de bois dur, pour faire mieux joindre ces madriers aux racinaux.

134. Les madriers qui se trouveront trop haut, seront abaissés à l'herminette jusqu'à l'arasement des autres, et plus particulièment ceux sur lesquels la première assise de pierre de taille devra être posée.

135. On tracera exactement le plan du nu du parement de la culée et de la demi-pile, ainsi que leur épaisseur et longueur sur les plate-formes de charpente : on portera en avant de la ligne du parement la saillie des retraites, qui sera de sept pieds, comme il est dit ci-devant, au droit de la demi-pile, et de dix-huit pouces pour le reste du parement de la culée du pilastre et des murs en retour ; à quoi l'on ajoutera le fruit d'une ligne par pied qui sera donné aux murs. C'est suivant ce dernier trait que le parement de la première assise sera posé.

136. Cette première assise sera posée sur mortier, et non à sec sur la plate-forme, comme il est d'usage ; le derrière sera garni de forts libages débrutis jusqu'à vingt-quatre pieds et demi au-delà de l'aplomb du parement de la demi-pile, et dans la longueur de quarante-cinq pieds qu'aura la largeur du pont : le surplus de l'épaisseur sera arasé en maçonnerie de moellon et mortier, ainsi qu'au derrière des paremens du reste de la longueur de cette culée.

137. Les assises et les voussoirs au-dessus seront posés et arasés de même, les unes horizontalement, les autres en suivant la coupe des voussoirs jusques et compris la septième retombée.

138. On fera, à neuf pouces près de la naissance de la voûte, les empatemens et les retraites de seize pouces neuf lignes à chacune des cinq assises du pourtour des demi-piles, lesquelles seront réduites en total à dix-huit pouces, comme on l'a dit ci-devant, pour le reste de la culée.

139. On observera, à la quatrième retombée, d'y laisser des bossages de six pouces de saillie au droit des fermes, sur au moins quinze pouces de largeur de part et d'autre du lieu où devront être placées les jambes de force, pour les retenir fixement contre la maçonnerie.

140. Avant de cesser les épuisemens, on posera huit jambes de force, qui seront destinées à porter les fermes des cintres : le

milieu des premières sera placé à dix-huit pouces des têtes de l'arche ; les six autres seront espacées à distance égale entr'elles et ces premières.

141. Ces jambes de force auront chacune quinze à dix-huit pouces de grosseur, posées jointivement sur leur côté le plus étroit, et entaillées exactement suivant les retraites ; elles excèderont de six pieds la naissance de l'arche, et seront assez longues pour être assemblées à tenons et mortaises par le bout inférieur, et sans être chevillées, dans deux cours de sablières (*ou patins*) de six et dix-huit pouces de grosseur, qui seront posées sur les deux retraites supérieures.

142. Le haut de ces jambes de force sera assemblé aussi à tenons et mortaises dans un sommier ou chapeau de douze pouces de hauteur et dix-huit pouces de largeur, lequel sera entaillé par le dessus d'un pouce de profondeur sur quinze pouces de largeur, pour recevoir les troisièmes rangs des arbalétriers. On fera les entailles au-devant de ces jambes de force pour l'assemblage des deux premiers arbalétriers.

143. Les batardeaux seront ensuite enlevés, compris les terres de leur intérieur, et les bois en seront conservés avec soin pour être remployés, ainsi qu'il sera expliqué ci-après.

Fondation des murs d'accompagnement à la culée.

144. On fondera ensuite le reste des murs en retour des culées, l'arche de halage, les murs de quais et les quatre murs qui seront transversalement construits sous l'arche de halage au droit du pont, le tout sur pilotis, racinaux et plate-formes de charpente, dont le dessus se trouvera à six pouces au moins sous les plus basses eaux.

145. Ces fondations étant ainsi établies dans les terres et peu avant sous l'eau, il ne sera pas nécessaire d'y faire des batardeaux

avec pilotis et palplanches, et les épuisemens seront faits par baquetage.

146. Les murs en retour de ceux de culées, ceux de la culée de l'arche de halage, les murs de quais et les pilastres, seront établis sur trois files de pilotis; on en battra seulement deux files sous les murs de dessous l'arche de halage. Il en entrera deux cent un à ces murs : ils seront tous élevés, comme on l'a dit ci-devant, jusqu'à dix-huit pieds six pouces au-dessus des plus basses eaux.

147. En traçant sur les plate-formes de charpente les retraites et les empatemens de ces murs, on aura l'attention d'y ajouter le fruit d'une ligne par pied au-delà du nu des paremens de ces murs, comme cela est indiqué ci-devant.

Culée du côté de Neuilli.

148. La deuxième culée du côté de Neuilli sera ensuite fondée avec les murs en retour, l'arche de halage et les murs de quais; le tout comme il est expliqué ci-devant.

149. On commencera par fouiller et enlever les terres jusqu'à l'eau, comme il est expliqué article 106, et on les transportera sur la partie de l'île qui sera réservée, ainsi que celles qui proviendront de la fondation des piles et murs de rampe qui seront faits dans l'île; et ces terres seront regalées de niveau.

150. Si le terrain ou le sable qui se trouvera au-dessous de l'eau, exige qu'il y soit fait des batardeaux, il en sera construit un pareil à celui expliqué ci-devant, et avec les bois qui en proviendront; on profitera de l'avantage que pourrait donner le terrain dans de certaines parties, soit pour diminuer le nombre des pilotis de la file du côté des terres, soit pour supprimer les palplanches du même côté; l'intérieur de ce batardeau sera ensuite dragué et rempli de terre franche, comme cela est expliqué article 113, pour faire les épuisemens.

Les deux premières piles du côté de Neuilli.

151. Pour les deux piles du côté de Neuilli, qui seront fondées dans l'île, on commencera par fouiller et enlever, jusqu'à l'eau, les terres du pourtour de chacune d'elles ; on fera ensuite, si cela est trouvé nécessaire, un batardeau autour de cette pile (*on n'a point fait ces batardeaux*) carrément à neuf pieds de l'emplacement de la fondation, à quoi on emploiera les bois qui proviendront des anciens batardeaux : ce qui pourra manquer sera fourni à neuf. On observera, suivant les circonstances, de supprimer partie du nombre des pieux et des palplanches, comme cela est expliqué pour le batardeau de la seconde culée.

152. La fondation de chaque pile sera établie sur des files de pilotis ; il en entrera en total cent quatre-vingt-trois, et la maçonnerie sera élevée jusques et compris la septième retombée, mesurée comme on l'a dit ci-devant.

Troisième et quatrième piles.

153. On fondera ensuite les troisième et quatrième piles : celle qui se trouvera dans la rivière près du bord de l'île, sera environnée d'un batardeau pareil à ceux des deux premières piles : on examinera cependant, lors de la construction, s'il ne suffirait pas de terminer et appuyer ce batardeau contre la berge de l'île.

154. Les terres qu'il sera nécessaire d'enlever pour cette fondation, seront transportées sur la partie de l'île qui sera conservée.

155. La dernière pile sera fondée au milieu de la rivière : elle sera environnée aussi carrément d'un batardeau, qui aura cinquante-cinq toises de pourtour, longueur à laquelle on évalue ce qu'il y en aura encore à faire à neuf, indépendamment des soixante-onze toises qui doivent être fournies pour la première culée.

156. Les terres et sables de l'intérieur des batardeaux de ces piles seront dragués jusqu'à neuf pieds de profondeur au-dessous des plus basses eaux ; et les puisards, pour l'établissement des pompes, au moins à deux pieds plus bas ; après quoi on fera les épuisemens et on construira chaque pile sur cent quatre-vingt-trois pilotis ; et le tout sera fait comme il est expliqué ci-devant.

Bossages sous les voussures.

157. En taillant les voussoirs des têtes au droit des voussures et des sept premières retombées, il sera réservé des bossages de pierre jusqu'à l'affleurement de la courbure de la voûte, dont les joints et les ciselures seront faits pour les voussures. Ces bossages serviront à soutenir la butée des fermes de têtes.

Murs de rampe.

158. On fondera dans le terrain les quatre murs de rampe ; les deux à faire du côté de Neuilli seront établis à la suite des murs de quai, perpendiculairement aux têtes du pont : l'obliquité de la berge de la rivière ne permettra pas d'établir les deux autres murs sur l'alignement des murs de quai ; celui d'amont s'en écartera de huit degrés en s'éloignant de la rivière, et l'autre de six degrés en s'en rapprochant.

159. On commencera par fouiller les terres jusqu'à l'eau sur la largeur convenable, en observant, comme on l'a expliqué pour la première culée, de faire les banquettes et talus suffisans ; les terres qui proviendront des murs du côté de Courbevoie, seront transportées derrière la culée.

160. On fera les épuisemens par baquetages ; et ces murs seront fondés à même profondeur que les murs de quai, sur trois files de pilotis, au nombre, pour chaque mur de rampe, de cent quatre-vingt-dix-neuf : ils seront élevés dans la même année jusqu'à dix-huit pieds six pouces au-dessus des plus basses eaux.

Choix de la pierre pour les voussoirs supérieurs des arches.

161. En faisant tirer dans les carrières la pierre nécessaire pour les ouvrages précédens, on réservera les plus forts quartiers pour les voussoirs de la partie supérieure des voûtes, et on les fera voiturer et tailler sur les chantiers; on achèvera ensuite d'approvisionner toute la pierre, les bois des cintres et les autres matériaux nécessaires, pour que les cinq arches du pont soient indispensablement construites depuis le dessus des sept premières retombées et décintrées dans la même campagne, avant la fin du mois d'octobre, si cela est possible. On fera pour cet effet toutes les dispositions convenables; on construira les échafauds, les ponts de service; on aura des bateaux en nombre convenable; on montera les grues et autres équipages nécessaires, et on s'assurera d'un nombre suffisant d'ouvriers de toute espèce.

Transport par eau de la pierre.

162. Les pierres provenant des carrières de Poissy et des autres carrières qui sont situées le long de la Seine, au cas que l'on soit obligé d'y avoir recours, seront conduites en général par eau, après les avoir fait tailler au bord de la rivière sur les chantiers que l'on y établira; et on les chargera avec soin sur des bateaux qui seront pontés pour cet effet; elles seront placées de bout et rangées de suite par assise et mêmes rangs de voussoirs, afin d'être enlevées avec des grues, au moyen de fortes tenailles de fer, du dessus des bateaux, pour être posées directement en place.

. . . .

. . . .

Précaution à prendre pour la pose des voussoirs.

195. On placera deux coins de bois de chêne entre les deux coupes de chaque voussoir, et ce dans des entailles de quatre

pouces de large et dix-huit lignes de profondeur à l'extrados, venant se terminer à rien à environ neuf pouces près de la douelle et d'un seul côté de chaque voussoir. Ces entailles seront faites à un pied des têtes et des bouts des voussoirs, pour que les coins soient chassés au droit les uns des autres, (attention nécessaire pour ne pas casser les voussoirs). Les coins auront quatre et cinq pieds de longueur, trois pouces et demi de large, et deux pouces d'épaisseur à leurs têtes : on les savonera et placera entre deux lattes à ardoise dans les entailles précédentes. Ces coins seront tous de bois de droit fil, fendus et planés de chaque côté : ils seront chassés successivement à trois reprises avec des maillets de bois du poids de quatre, huit et douze livres; à quoi on emploiera cinquante hommes, savoir dix hommes pour chaque arche, dont cinq commenceront de chaque côté par chasser, dans la première journée, avec les maillets de quatre livres, et d'un égal nombre de coups, les coins les plus éloignés des clefs : ils se rapprocheront en même temps pour chaque rang correspondant jusqu'à ce qu'ils soient arrivés au milieu de la voûte. La même opération sera faite successivement la seconde et la troisième journée dans le même ordre et à toutes les arches à-la-fois, avec des maillets de huit livres et douze livres : les coins seront enfoncés avec ces derniers maillets, jusqu'à ce qu'étant chassés à coups redoublés, ils refusent d'entrer. Il en faudra environ trois mille pour le pont.

196. Ces voussoirs seront ensuite coulés et fichés en bon mortier de chaux et ciment, et garnis en leurs joints avec petites pierres dures : ils seront tous garnis, jusqu'à la hauteur des plus longs voussoirs, avec maçonnerie de moellon dur et bon mortier de chaux et sable.

FIN DE LA 1re SECTION DU CHAPITRE 3e DE LA 2e PARTIE ET DU PREMIER VOLUME.

